

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde
(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger)
Abteilung für Zahnerhaltungskunde
(Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger)
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Dichtigkeit unterschiedlicher Verschlussarten endodontischer Zugangskavitäten

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin
dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Jörn Wittig
aus Hamburg
Marburg 2014

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg am 03.11.2014

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Herr Prof. Dr. H. Schäfer
Referent: Herr Prof. Dr. R. Frankenberger
1. Korreferent: Frau Prof. Dr. A. Jablonski-Momeni

Gewidmet
meinen Eltern
Waltraud und Peter Wittig

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
1.1	Hintergrund und Ziele	1
1.2	Material und Methoden	1
1.3	Ergebnisse	2
1.4	Schlussfolgerungen	2
2	SUMMARY	3
2.1	Objective	3
2.2	Material and methods	3
2.3	Results	4
2.4	Conclusion	4
3	EINLEITUNG	5
4	ZIELSETZUNG	8
5	LITERATURÜBERSICHT	9
5.1	Erfolgsaussicht von Wurzelkanalbehandlungen	9
5.2	Aufbaufüllungen	11
5.3	Schmelz- und Dentinbonding	18
6	MATERIAL UND METHODEN	23
6.1	Vorbereitung der Versuchszähne	23
6.2	Probenherstellung	23
6.3	Statistische Datenanalyse	31
7	ERGEBNISSE	32
8	DISKUSSION	36
8.1	Diskussion von Material und Methoden	36
8.2	Diskussion der Ergebnisse	40
9	LITERATURVERZEICHNIS	43
	ANHANG	54
	DANKSAGUNG	55
	VERZEICHNIS DER AKADEMISCHEN LEHRER	56

1 Zusammenfassung

1.1 Hintergrund und Ziele

Der Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen hängt neben der qualitativ guten Wurzelkanalfüllung maßgeblich von einem langfristig dichten koronaren Verschluss ab. Ziel dieser Arbeit war es, verschiedene Techniken der adhäsiven Befestigung von Komposit Aufbaufüllungen auf eine frisch gelegte Wurzelkanalfüllung miteinander zu vergleichen.

1.2 Material und Methoden

50 dreiwurzelige extrahierte Molaren wurden bis zur Schmelz-Zementgrenze dekapitiert und wurzelkanalbehandelt. Die Wurzelkanäle wurden bis ISO 50 aufbereitet und mit der Einstifttechnik mit Guttapercha und AhPlus als Sealer gefüllt. Anschließend wurden die Zähne in fünf Gruppen mit je zehn Zähnen aufgeteilt und verschiedene Aufbaufüllungen auf die Wurzelfüllungen aufgebracht. Die negative Kontrollgruppe wurde mit Glasionomerezement gefüllt. Die übrigen 4 Gruppen erhielten eine Aufbaufüllung mit Tetric Ceram.

Bei zwei Gruppen wurden jeweils die Kanaleingänge mit Harvard Cement abgedeckt, es folgte das Dentinbonding mit Syntac Classic, bei Gruppe 5 mit Total Etching und bei Gruppe 2 mit Anwendung nach Herstellerangaben ohne Total Etching. Bei den Gruppen 3 und 4 wurde vor Aufbringen der Aufbaufüllung das Pulpencavum mit Tetric Flow gefüllt, das Dentinbonding erfolgte mit Syntac Classic, bei Gruppe 4 mit Total Etching, bei Gruppe 3 ohne Total Etching.

Es folgte eine thermische Belastung im Thermocycler (1150 Zyklen, 5-55°C) und eine Anfärbung mit Fuchsin. Die Proben wurden dann mit einer Diamantsäge halbiert und unter dem Lichtmikroskop die Farbstoffpenetration ausgewertet.

1.3 Ergebnisse

Die besten Ergebnisse erbrachte Gruppe 5, also der Verschluss der Kanaleingänge mit Harvard Cement und anschließendem Total Etching. Signifikant war der Unterschied allerdings nur gegenüber den Gruppen 1 und 3 ($p < 0,001$) sowie Gruppe 2 ($p = 0,007$). Zur Gruppe 4, also Total Etching und nachfolgendes Füllen des Pulpencavums mit Tetric Flow, waren die Ergebnisse nicht signifikant besser ($p = 0,294$).

Gleiches gilt für den Vergleich der Gruppen 2 und 3 ohne Total Etching. Die Abdeckung der Kanaleingänge mit Harvard Cement in Gruppe 2 erbrachte einen dichteren Verschluss, der Unterschied war aber auch hier nicht signifikant ($p = 0,113$).

1.4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass deutliche Unterschiede in der Dichtigkeit der Aufbaufüllungen je nach Art der adhäsiven Befestigung vorliegen. Unter Verwendung von Syntac Classic und Tetric Ceram lässt sich durch Anwendung von Total Etching ein signifikant besserer Materialverbund erzielen. Ein Abdecken der Kanaleingänge mit Harvard Cement zur Vermeidung von Austritt von Sealer erscheint sinnvoll.

Alle Gruppen zeigten nach 1150 Zyklen Thermocycling Undichtigkeiten, was zeigt, dass bei ausgedehnten Defekten ein rein adhäsiver Verschluss nicht ausreichend ist und eine zeitnahe stabilisierende Restauration anzustreben ist.

2 Summary

2.1 Objective

For a good outcome after endodontic treatment a leak proof coronal sealing is essential besides a good root canal filling. Objective of this study was to compare different techniques of adhesive restoration directly after endodontic treatment.

2.2 Material and methods

50 extracted upper molars with three roots were decapitated to the cemento-enamel junction followed by endodontic treatment. The root canals were instrumented up to ISO size 50 and filled using a gutta-percha mastercone and AhPlus sealer. Then the teeth were divided into five groups and different fillings were applied. The negative control group was filled with Ionofil Molar cement, the other four groups received adhesive fillings with Tetric Ceram.

In two groups, the entrances to the root canals were covered with Harvard Cement followed by adhesive filling with Syntac Classic dentin bonding agent. In group 5 total etching was used, in group 2 Syntac Classic was applied according to the manufacturer without etching. In groups 3 and 4 the pulp chamber was filled with Tetric Flow before reconstructing the teeth with Tetric Ceram. In group 4 total etching was used before application of Syntac Classic, in group 3 Syntac Classic was applied without etching.

Afterwards thermal loading was applied in a thermocycler (1150 cycles, 5-55°C), and then the samples were stained with fuchsin. The teeth were dissected in two halves with a diamond saw, ink penetration was evaluated by light microscopy.

2.3 Results

Group 5 achieved best results by covering the root canal entrances with Harvard cement followed by total etching and dentin bonding with Syntac Classic. The results were significantly better than groups 1 and 3 ($p < 0,001$) as well as Group 2 ($p = 0,007$). Compared to group 4 with total etching and subsequent bonding and filling of the pulp chamber with Tetric Flow there was no significant difference ($p = 0,294$).

The same observations could be made comparing group 2 and 3 without total etching. Sealing the root canal entries with Harvard Cement achieved better results, but the difference was not significant ($p = 0,113$).

2.4 Conclusion

Results show, that there are considerable differences between the methods of adhesive restauration after endodontic treatment. When using Syntac Classic and Tetric Ceram there is significantly less leakage if total etching is used. Sealing the root canal entries before adhesive treatment seems to be reasonable.

All groups show leakage after 1150 cycles of Thermocycling. That indicates that when restoring extensive defects adhesive filling might not be sufficient and should be followed by a stabilising restauration.

3 Einleitung

Eines der wichtigsten Ziele der Zahnmedizin ist es, Zähne in einem gesunden Zustand zu erhalten. Früher musste ein erkrankter Zahn unweigerlich extrahiert werden. Erst die Entwicklung von modernen endodontischen Behandlungen machte auch eine Erhaltung tief kariös zerstörter Zähne möglich. Durch diese Weiterentwicklung der restaurativen Maßnahmen sanken die Anzahl der extraktionswürdigen Zähne in den letzten Jahrzehnten und auch die Zahl der zahnlosen Patienten [18].

Zu untersuchen wie erfolgreich eine Wurzelkanalbehandlung ist war in den letzten 80 Jahren schon das Ziel vieler Studien [40]. Durch Unterschiede in der Studienmethodik, der Definition von Erfolg, unterschiedlichen Materialien und Behandlungsmethoden variieren die Ergebnisse voneinander. Viele Artikel beschreiben eine Erfolgsrate von 92% bis 98% [40,41,92].

Als Parameter für den Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen werden vor allem das Ausmaß der apikalen Entzündung sowie die Qualität der Wurzelfüllung und der bakteriendichte koronale Verschluss angegeben. SALEHRABI und ROTSTEIN untersuchten in einer großen Studie in den USA bei mehr als 1,46 Millionen Zähnen, die endodontisch therapiert wurden, den Langzeiterfolg der Behandlung. Nach 8 Jahren befanden sich noch 97% der Zähne in der Mundhöhle. Von den gescheiterten Wurzelbehandlungen wiesen 85% der Zähne einen insuffizienten koronalen Verschluss auf [92]. TORABINEJAD und UNG stellten fest, dass bei 50% von in vitro wurzelgefüllten Zähnen bereits 19 Tage nach Kontamination mit *S. epidermidis* der Wurzelkanal vollständig kontaminiert war [103]. SWANSON und MADISON untersuchten die Penetration von künstlichem Speichel entlang von Wurzelfüllungen und fanden eine Penetration von 85% 3 Tage nach Speichelexposition [99]. Aus diesen Ergebnissen lässt sich schließen, dass der Langzeiterfolg einer Wurzelkanalbehandlung neben der Qualität der Wurzelfüllung entscheidend von dem bakteriendichten Verschluss der Zugangskavität abhängt. Da das Eindringen von Bakterien nur wenige Tage dauert sollte ein früher, am besten sofortiger dichter Verschluss angestrebt werden.

Ein guter restaurativer Verschluss des Zahnes ist schon Aufgrund der Tatsache schwierig, dass der Zahn häufig vor endodontischer Therapie tief kariös zerstört ist und durch die Präparation des Zugangs zur Pulpahöhle noch weiter geschwächt wird. NAGASIRI und CHITMONGKOLSUK haben in einer Kohortenstudie von 203 Patienten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Größe des Defektes und der Lebenserwartung eines wurzelgefüllten, nicht überkronten Zahnes festgestellt. Von den untersuchten Zähnen waren nach 5 Jahren noch 36% in situ. Von den Zähnen mit nur einem geringen Verlust der Zahnhartsubstanz jedoch befanden sich nach 5 Jahren noch 78% in der Mundhöhle. Außerdem zeigte sich, dass Zähne mit einer adhäsiv befestigten Kompositfüllung eine bessere Prognose haben als solche mit einer Amalgamfüllung oder einer Zementfüllung [70]. Das bestätigen auch in vitro Untersuchungen mit adhäsiven Aufbaufüllungen, die eine größere Resistenz gegenüber Frakturen hatten [32,87].

Vor dem Hintergrund, dass eine Wurzelfüllung nur einen Versuch darstellt den Zahn zu erhalten und dass es sich bei fachgerechter Durchführung um ein zeitaufwändiges Verfahren handelt, stellt sich auch die Frage nach alternativen Behandlungsmethoden falls sich Patient und Zahnarzt für die Extraktion des betroffenen Zahnes entscheiden. Die einfachste und kostengünstigste Lösung für den Zahnersatz ist die Anfertigung einer Teilprothese, allerdings handelt es sich dabei um die für den Patienten unkomfortabelste Alternative, der Langzeiterfolg über 8 bis 10 Jahre wird für Teilprothesen zwischen 36% und 42% angegeben [18]. Die Prognose für festsitzenden Zahnersatz in Form von Brücken wird als erfolgreicher bewertet. Über einen Beobachtungszeitraum von 10 bis 15 Jahren finden sich bei verschiedenen Studien Erfolgsraten zwischen 71% und 85%. Um die Zahnhartsubstanz der Nachbarzähne zu schützen sollte diese Methode allerdings vor allem in Betracht gezogen werden, wenn bei den Nachbarzähnen eine Überkronung indiziert ist [18]. Für den Zahnersatz verschiedenster Situationen von der Einzelzahnlücke über Schalt- und Frendlücken bis hin zu zahnlosen Patienten haben Implantate in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr an Bedeutung gewonnen. ECKERT et al. fanden für verschiedene Implantatsysteme eine durchschnittliche 5-Jahres Überlebensrate von 96% [26].

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei jedem Zahn, der nur durch eine Wurzelkanalbehandlung erhalten werden kann, Patient und Zahnarzt die Erfolgs- bzw. Misserfolgsaussichten der endodontischen Behandlung gegen die Vor- und Nachteile der alternativen Behandlungsmethoden abwägen müssen. Es kann trotz aussagekräftiger Daten zu den Überlebensraten kein Verfahren generell als erfolgsversprechender angesehen werden, sondern jeder Einzelfall muss individuell beurteilt werden. Bei Zähnen mit einer mittleren bis guten Prognose sollte sich der Behandler für die Erhaltung und endodontische Behandlung entscheiden. Eines der wichtigsten Kriterien für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist der möglichst sofortige und dauerhafte bakteriendichte Verschluss der Zugangskavität [92]. Die besten Ergebnisse ergaben wie schon erläutert adhäsiv befestigte Kompositfüllungen [70]. Diese modernen Füllungsmaterialien sind allerdings sehr sensitiv gegenüber Fehlern in der Vorbereitung der Zähne sowie bei der adhäsiven Befestigung des Komposits. Anwendungsfehler können zu dramatischem Abfall der Verbindungsstärke zwischen Zahn und Füllungswerkstoff resultieren [35].

4 Zielsetzung

In dieser Arbeit soll die Dichtigkeit unterschiedlicher Aufbaufüllungen nach endodontischer Behandlung untersucht werden. Für die Positivkontrolle wurde als Aufbaufüllungsmaterial der Glasionomerzement Ionofil Molar ausgewählt. In 4 weiteren Gruppen wurden Kompositaufbaufüllungen mit unterschiedlichen Vorbehandlungen der Zähne gelegt. Es gibt viele Studien, die sich mit Dentinbonding beschäftigen, wenige untersuchen aber die Qualität des Bondings am Pulpadentin und den Einfluss des noch nicht abgebundenen Wurzelkanalsealers auf die Qualität des Dentinbondings. Das zum Einsatz gekommene Wurzelfüllungsmaterial auf Epoxydharzbasis Ah Plus (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) hat nach Herstellerangaben eine Aushärtezeit von mindestens 8 Stunden und besteht aus 10 Komponenten. Werden die Agenzien des Dentinbondings ohne weitere Abdeckung auf die Wurzelkanalfüllung aufgebracht, ist ein Vermischen unvermeidlich. Um zu untersuchen ob diese Tatsache einen Effekt auf die Qualität der adhäsiven Verbindung hat, wurden 50 extrahierte Unterkiefermolaren in fünf Gruppen aufgeteilt und nach endodontischer Behandlung mit fünf verschiedenen Aufbaufüllungen versehen. Als Dentinbonding Agent kam Syntac Classic (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) zum Einsatz. Zur Belastungssimulation wurden die Zähne nach einer Wartezeit in Wasserlagerung von 21 Tagen mit 1150 Zyklen im Thermocycler behandelt. Nach anschließendem Farbstoffpenetrationstest wurden die Proben in 2 Hälften gesägt und unter dem Mikroskop die Eindringtiefe des Farbstoffes untersucht.

5 Literaturübersicht

5.1 Erfolgsaussicht von Wurzelkanalbehandlungen

Während der letzten 80 Jahre wurden schon viele Studien durchgeführt, um den Erfolg von endodontischen Behandlungen zu untersuchen. Die Rate der Erfolgsergebnisse variiert in der Größenordnung zwischen 92% und 98% [40,41,92]. Die Studien unterscheiden sich im Studiendesign, der Definition von Erfolg, der Zeit für den Heilungsprozess, den endodontischen Behandlungsmethoden, der Anzahl und Erfahrung der Beobachter, die den Erfolg kontrollieren, der Art der Aufbaufüllung und der Anzahl der Patienten, die zu den Kontrollterminen erscheinen. Kliniker definieren den Erfolg in der Regel an klinischen Kriterien wie das Abklingen von Symptomen und der Rückbildung eines apikalen Prozesses. Für Patienten kann Erfolg schon der Rückgewinn der funktionellen Belastbarkeit sein, dass der Zahn Schmerzen bei Belastung macht, sonst aber symptomlos ist [18]. SJOGREN et al. zeigten, dass es bis zu 4 Jahre dauern kann, bis sich eine apikale Aufhellung zurückbildet. Das zeigt, dass Studien, deren Nachsorgeperiode zu kurz ist, den Erfolg zu gering bewerten [97].

FRIEDMAN et al. haben in der prospektiven „Toronto Study“ 120 wurzelkanalbehandelte Zähne über 6 Jahre nachverfolgt. 97% der Zähne waren am Ende des Beobachtungszeitraumes asymptomatisch und konnten als funktionell eingestuft werden. 81% der Zähne wurden radiologisch als geheilt klassifiziert, 19% wiesen eine apikale Parodontitis auf. Von den einwurzeligen Zähnen waren 88% geheilt, von den mehrwurzeligen 77%. Zähne mit einer apikalen Parodontitis zu Behandlungsbeginn wurden nach den 6 Jahren zu 74% als geheilt eingestuft, solche ohne Radioluzenz zu 92%. Bei Extirpation vitale Zähne wurden zu 95% als geheilt eingestuft, nekrotische Zähne zu 75%. Wurde ein temporäres Füllungsmaterial zum Verschluss der Kavität verwendet, lag die Heilungsrate bei 70%, bei definitiv gefüllten Zähnen bei 85% [40].

SALEHRABI und ROTSTEIN haben in einer großen epidemiologischen Studie 1.462.936 wurzelbehandelte Zähne über einen Zeitraum von 8 Jahren zurückverfolgt. Nach diesem Zeitraum befanden sich noch 97,1% der Zähne in

der Mundhöhle. Von diesen wurde bei 0,4% eine nichtchirurgische Wurzelfüllungsrevision und bei 0,6% eine Wurzelspitzenresektion durchgeführt. Von den 3% extrahierten Zähnen wiesen 83% einen unvollständigen koronalen Verschluss auf. Als nicht ausreichender Verschluss wurden in dieser Studie auch mehrflächige Amalgam- und Kompositfüllungen angesehen. Die Ergebnisse machen deutlich, dass die Überlebensrate endodontisch behandelter Zähne von einem suffizienten koronalen Verschluss abhängt [92].

NAGASIRI und CHITMONGKOLSUK untersuchten 220 wurzelkanalbehandelte Molaren, die auf einer Warteliste für Kronenversorgungen waren. Die Überlebensraten der Zähne lagen nach 1, 2 und 5 Jahren bei 96%, 88% und 36%. Je mehr Zahnhartsubstanz vorhanden war, umso größer war die Überlebensrate. Molaren mit maximal erhaltener Substanz und nur einer Trepanationsöffnung hatten eine 5-Jahres-Überlebensrate von 78%. Zähne mit Kompositrestaurationen hatten eine bessere Prognose als solche mit Amalgam- oder Zinkoxid-Eugenol-Füllungen [70].

RAY und TROPE haben Röntgenbilder von 1.010 Wurzelkanalbehandelten Zähnen begutachtet und in Gruppen eingeteilt mit guter oder schlechter Qualität der koronalen Restauration und jeweils mit guter oder schlechter Qualität der Wurzelfüllung. Bei jeder der 4 Gruppen wurde der Anteil der Zähne mit periradikulärer Entzündung bestimmt. Die beiden Gruppen mit guter koronaler Restauration wiesen zusammen deutlich weniger apikale Entzündungen auf als Zähne mit guter Wurzelfüllung, 20% gegenüber 24,3%. Entsprechend zeigte sich bei Zähnen mit schlechter koronaler Restauration bei 48,6% eine apikale Entzündung, bei den beiden Gruppen mit schlechter Wurzelfüllung bei 30,2%. Das Beste Ergebnis brachte die Gruppe mit gutem koronalen Verschluss und guter Wurzelfüllung, es fand sich bei 8,6% der Zähne eine periradikuläre Entzündung. Bei der Gruppe mit schlechter koronaler Restauration und schlechter Wurzelfüllung lag der Anteil bei 81,9%. Für die Prognose des Zahnes ist nach diesen Ergebnissen eine qualitativ gute Aufbaufüllung als wichtiger anzusehen als eine gute Qualität der Wurzelfüllung [86].

5.2 Aufbaufüllungen

Oft können Misserfolge in der Endodontie auf einen unzureichenden provisorischen Verschluss, Bruch der Füllung oder zu große Verzögerung in der definitiven Versorgung zurückgeführt werden [6,45]. Der Langzeiterfolg einer Wurzelkanalbehandlung hängt daher zu großen Teilen von einem guten provisorischen Verschluss ab, der das Eindringen von Speichel und Bakterien und damit eine Infektion oder Reinfektion des Wurzelkanals verhindern soll [52]. Des Weiteren soll ein provisorischer Verschluss einer endodontischen Zugangskavität während einer medizinischen Einlage das Auswaschen des Medikamentes verhindern [111].

Verschiedene Füllungsmaterialien wurden für den provisorischen Verschluss von Zugangskavitäten empfohlen, aber Tests haben teilweise gegensätzliche Ergebnisse geliefert [105]. Ursache dafür sind unter anderem verschiedene Testmethoden, Materialstärken, Verarbeitungsmethoden und Dauer der Tests [105].

Mehrere Studien haben gezeigt, dass Mikroorganismen, die den koronalen Verschluss passiert haben innerhalb weniger Wochen entlang der Wurzelfüllung nach apikal gelangen können und den Behandlungserfolg gefährden [112]. Daher ist es wichtig, vermehrt durch Tests die Dichtigkeit des koronalen Verschlusses zu überprüfen. Kliniker haben oft das Problem, dass sich Behandlungen mit mehreren Sitzungen über einen längeren Zeitraum erstrecken. Schon eine Undichtigkeit über eine relativ kurze Zeit (3 Tage) sollte als Ursache für den Misserfolg einer endodontischen Behandlung angesehen werden [105]. MAGURA empfiehlt, eine länger als drei Monate provisorisch verschlossene Wurzelkanalbehandlung zu revidieren [114].

Zähne, die eine Wurzelkanalbehandlung benötigen, sind häufig so kariös oder schon durch große Füllungen vorbehandelt, dass in die Präparation mehrere Flächen einbezogen werden müssen [52]. Diese komplexen Präparationen erfordern einen haltbareren provisorischen Verschluss als Zugangskavitäten, deren Umgebung intakt ist. Bei verschiedenen Studien, die den Verschluss einflächiger Zugangskavitäten untersucht haben, zeigten sich gute Ergebnisse mit Materialien auf Kalziumsulfat-Basis wie Cavit, die durch ihre hohe lineare Expansion während des Abbindens eine hohe Dichtigkeit der Kavität erreichten

[66]. Als Verschluss der komplexen endodontischen Zugangskavitäten sind diese Materialien allerdings nicht ausreichend. Auch wenn Kunststoffmaterialien wie TERM® in diesen Fällen bessere Ergebnisse zeigen, ist die Haltbarkeit trotzdem stark begrenzt und nach spätestens einem Monat sollte eine definitive Versorgung gewährleistet sein [3].

Die meisten Untersuchungen wurden *in vitro* durchgeführt. Bei diesen Studien ist es allerdings schwierig, die tatsächliche Belastung eines Zahnes nachzuahmen, vor allem die Okklusion und die Mundflora. *In vivo* Studien, die an Affen durchgeführt wurden, konnten aufgrund zu kleiner Zähne nicht ausgewertet werden, es ist eine Mindestschichtstärke von 3,5 mm nötig, die Füllungen an Affenzähnen wiesen eine maximale Stärke von 2 mm auf [6,61]. Bei einer *in vivo* Studie von BEACH ET AL am Menschen, bei der einflächige Zugangskavitäten versorgt wurden, zeigte Cavit als provisorisches Füllungsmaterial keine Undichtigkeiten, bei IRM konnten bei 6% der Zähne Bakterien die Füllung durchdringen, bei TERM sogar bei 29%. Das gute Abschneiden von Cavit ist auf Wasserabsorption und dadurch Expansion während der Abbinde Reaktion zurückzuführen. Diese Ergebnisse sind aber nicht repräsentativ für komplexe Kavitäten [6]. ANDERSON ET AL untersuchten die gleichen Materialien in komplexen Zugangskavitäten. Dabei schnitt Cavit® mit einer linearen Abbindeexpansion von 14% am schlechtesten ab, die besten Ergebnisse brachte TERM als Vertreter der Composite, wobei auch dieses Material nach 4-8 Wochen Aufbewahrung in Ringerlösung undicht wurde [3].

KOAGEL et al verglichen die Dichtigkeit von Tempit UltraF, Tempit, IRM und Cavit. Tempit UltraF ist ein Diurethan-Dimethacrylat Kunststoff, der lichtaktiviert wird, aber nicht durch Dentinbonding geklebt wird. Es wurden mit Guttapercha und Ah Plus wurzelkanalgefüllte Zähne mit unterschiedlichen Aufbaufüllungen versehen und anschließend mit 500 Zyklen zwischen 5°C und 55°C im Thermocycler belastet. Alle Materialien zeigten Undichtigkeiten, lediglich Tempit UltraF dichtete signifikant besser ab als Cavit und IRM [57].

MADARATI et al untersuchten die Qualität des koronaren Verschlusses von vier Materialien zum Verschluss der Pulpenkavität nach unterschiedlichen Verweildauern der Füllungen. Die Versuchszähne wurden mit Guttapercha und Zinkoxid Eugenol Sealer endodontisch behandelt. Anschließend erfolgte die

Füllung mit den vier temporären Füllungsmaterialien Glasionomerzement, Zinkphosphatzement, IRM und Coltosol, einem Material auf Zinksulphat-Calcium Basis. Es wurden 50 Zyklen im Thermocycler zwischen 0°C und 56°C zur Belastungssimulation durchgeführt. Der Farbstoffpenetrationstest zeigte gute Ergebnisse nur für Coltosol und Glasionomerzement für die ersten beiden Wochen, ab der dritten Woche steigen die Penetrationstiefen auch für diese Materialien an, sodass die Autoren von einer Anwendung über 2 Wochen hinaus abraten [64].

ZALIA et al haben für den Verschluss der Pulpenkavität drei temporäre Füllungsmaterialien und Scotch Bond als Vertreter der Dentinadhäsive aus der 4. Generation verglichen. Die Versuchszähne wurden wurzelkanalbehandelt, mit Guttapercha und mit Endomethasone Sealer wurzelgefüllt, dann wurde die Pulpenkavität entsprechend der Gruppenzugehörigkeit mit einem der vier Füllungsmaterialien mit einer Schichtstärke von 2mm verschlossen. Als temporäre Materialien kamen Glasionomerzement, IRM als verstärkter Zinkoxidzement und Coltosol zum Einsatz. In der Scotch Bond Gruppe wurde die Kavität für 15s mit 37%iger Phosphorsäure angeätzt, dann abgesprüht und getrocknet. Primer wurde aufgetragen und anschließend eine Schicht von 2mm Scotch Bond. Auch wenn eine Schicht von 2mm Bonding nicht der klinischen Realität entspricht, wurde diese Methode für die Studie als akzeptabel im Rahmen der Standardisierung der Füllungen angesehen. Die Proben wurden für 1000 Zyklen im Thermocycler zwischen 5°C und 55°C belastet, die Darstellung der undichten Anteile erfolgte durch die Farbstoffpenetrationsmethode. Alle Gruppen zeigten Undichtigkeiten, die Gruppen mit IRM und Coltosol Füllungen zeigten signifikant bessere Ergebnisse. Glasionomerzement als Verschluss der Pulpenkavität war signifikant schlechter als Coltosol und IRM, aber signifikant besser als Scotch Bond. Scotch Bond konnte sich nicht signifikant von der positiven Kontrollgruppe abheben [115].

WATTANAWONGPITAK et al haben den Effekt von endodontischen Spülflüssigkeiten und dem Calciumhydroxid Sealer Sealapex auf die Microtensile Bondingstärke von zwei Dentinbondingsystemen untersucht. Während der endodontischen Behandlung wird die das Dentin bedeckende Schmierschicht durch Spülungen mit Natriumhypochlorit (NaOCl),

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) und Etylendiamintetraessigsäure (EDTA) entfernt, um einen besseren Verschluss der Wurzelkanäle zu ermöglichen. Einige Studien haben gezeigt, dass der Sealer in die von der Schmierschicht befreiten Dentintubuli eindringen kann [27,58]. Diese Studie sollte den Einfluss von Sealerpfropfen in den Dentintubuli auf das Bonding untersuchen. Dazu wurden bei den Versuchszähnen die Kanäle aufbereitet und je nach Gruppe gar nicht, mit NaOCl oder mit EDTA und NaOCl gespült. Es wurde für eine Woche Sealapex eingebracht und anschließend wieder entfernt. Die Gruppen wurden jeweils in zwei Untergruppen aufgeteilt und entweder mit dem Total Etch Bondingsystem Single Bond oder mit dem Self Etch System Clearfil SE Bond, einem System der 6. Generation, für die Aufnahme einer Kompositaufbauauffüllung aus Clearfil DC Core Automix vorbereitet. Anschließend wurde die Qualität des Bondings durch Microtensile Untersuchungen gemessen. Für beide Dentinadhäsivsysteme wurde durch das Einbringen von Sealer im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Sealer eine signifikant schlechtere Dentinhaftung ermittelt. Die zusätzliche Anwendung von NaOCl Spülungen verschlechterte die Werte weiter, die Gruppe mit EDTA Spülung zeigte nochmals geringere Dentinhaftung. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem Total Etch System und dem Self Etch System gefunden werden [110].

COTTON et al untersuchten in einer retrospektiven klinischen Studie, ob durch die Verwendung eines adhäsiven Wurzelkanalfüllsystems gegenüber einer konventionellen Füllung mit Guttapercha klinisch und radiologisch ein besseres Outcome erreicht werden kann. Es wurden 276 Zähne endodontisch behandelt und entweder mit Resilon und Epiphany Sealer oder mit Guttapercha und Kerr Pulp Canal Sealer gefüllt. Epiphany Sealer verwendet ein self-etch Adhäsivsystem der 6. Generation [96]. Nach einem Beobachtungszeitraum von bis zu 25 Monaten konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen festgestellt werden [16].

Da also durch adhäsive Wurzelkanalfüllungen kein Benefit erreicht werden konnte [16] und da der koronare Verschluss durch temporäre Füllungsmaterialien schlecht vorhersagbar ist [57,64,88], wurden

Dentinadhäsive als zusätzliche Barriere zum Abschluss der Pulpenkavität propagiert.

WOLANEK et al untersuchten den Effekt des Eugenolbasierten Sealers Kerr Root Canal Sealer EWT auf Clearfil Liner Bond 2V, das mit dem zum System gehörenden self-etching Adhäsivsystem Clearfil SE aus der 6. Generation aufgebracht wurde. Zur Prüfung der Dichtigkeit wurde ein Bakterien Penetrationstest mit oralen Streptokokken durchgeführt. Die Anwesenheit des Sealers hatte in dieser Studie nach 30, 60 und 90 Tagen keinen signifikanten Effekt auf die Qualität des Dentinbondings [113].

GALVAN et al verglichen die Dichtigkeiten von fünf Füllungsmaterialien zum Verschluss der endodontisch Zugangskavität. 52 Zähne wurden wurzelkanalbehandelt und dann mit Guttapercha ohne Sealer versehen. Die Zähne wurden auf 5 Gruppen verteilt und jeweils mit 3mm Schichtstärke des jeweiligen Füllungsmaterials gefüllt. Folgend Materialien wurden verwendet: 1. Amalgabond Plus, ein selbsthärtendes Adhäsivsystem, 2. C&B Metabond, ein selbsthärtender adhäsiver Zement, 3. One-Step, einem lichterhärtenden, acetonbasierten Einfaschenadhäsivsystem der 5. Generation, mit Ælitem LV, einem lichterhärtenden, niedrig viskösen Mikrohybridkomposit (Bisco, Inc., Schaumburg, IL), 4. Palfique, ebenfalls einem flowable Komposit (Tokuyama Corp., Tokyo, Japan), ebenfalls mit One-Step adhäsiv befestigt, 5. IRM, einem verstärkten Zinkoxid Eugenol Zement. Zur Messung der Dichtigkeit wurde die Flüssigkeitsfiltrationsmethode verwendet. Gemessen wurde nach 1 Tag, 1 Woche, 1 Monat und 3 Monaten. Die adhäsiv befestigten Komposite zeigten alle einen geringeren Flüssigkeitsdurchtritt als IRM. Die geringste Undichtigkeit über den gesamten Verlauf der Studie wiesen die Füllungen mit Amalgabond Plus auf. Am einfachsten anzuwenden waren Amalgabond Plus und C&B Metabond, da sie selbsthärtend sind und keinen gesonderten Kompositaufbau benötigen. Die Schichtstärke wird durch Zugabe von PMMA Pulver erreicht. Da in der Studie kein Sealer verwendet wurde müssen die Ergebnisse vorsichtig bewertet werden, da dieser die Bondingqualität beeinflussen könnte. Die Verwendung von Kompositen als Verschluss der endodontischen Zugangskavitäten könnte Füllungsundichtigkeiten verhindern, bis eine definitive Rekonstruktion durchgeführt wird [43].

BELLI et al untersuchten die Fähigkeit von vier Füllungsmaterialien, die Kanaleingänge nach der endodontischen Behandlung zu versiegeln. 40 Zähne wurden in 4 Gruppen zunächst wurzelkanalbehandelt und dann mit Guttapercha ohne Sealer gefüllt. Die Pulpenkavität wurde mit NaOCl und Wasser gespült. Bei Gruppe 1 wurde die Pulpenkavität mit C&B Metabond mit dem zugehörigen Schmelz- und Dentinaktivator und PMMA Pulver gefüllt, bei Gruppe 2 wurde das One-Step Adhäsivsystem der 5. Generation zur Oberflächenkonditionierung benutzt und die Pulpenkavität mit dem flowable Komposit Ælieflo LV gefüllt. Bei Gruppe 3 wurde Palfique transparent mit dem Dentinbondingsystem Clearfil SE Bond der 6. Generation adhäsiv in der Pulpenkavität befestigt, Gruppe 4 wurde mit IRM gefüllt. Es wurde die Flüssigkeitsfiltrationsmethode zur Messung der Undichtigkeiten nach 1 Tag, 1 Woche und 1 Monat verwendet. IRM zeigte zu jedem Zeitpunkt signifikant mehr Undichtigkeiten als die Kompositssysteme. Die Kompositgruppen zeigten keine signifikanten Unterschiede untereinander, nur Metabond hatte bei der sofortigen Messung geringere Undichtigkeiten. Die verwendeten Komposite gibt es als transparente Variante beziehungsweise mit transparentem PMMA Pulver im Fall von C&B Metabond, damit die Kanaleingänge wieder aufgesucht werden können, sollte eine Revision der Wurzelkanalfüllung notwendig werden. Weiterhin wurden in der Studie polierte Schnitte elektronenmikroskopisch untersucht. Dabei zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Materialien. Neben unterschiedlich guter Infiltration der Dentintubuli zeigte sich interessanter Weise eine unterschiedlich gute Polymerisation um die Guttaperchaspitzen. C&B Metabond und Clearfil SE Bond zeigen eine gute Polymerisation über der Guttapercha, bei One-Step ist das nicht der Fall. Ursache dafür könnte das Lösungsmittel Aceton in One-Step sein, das Bestandteile aus der Guttapercha lösen könnte, die die Polymerisation verhindern [8].

KORASLI et al untersuchten die koronalen Undichtigkeiten von wurzelbehandelten Zähnen, die mit 4 self-etching und einem total etching System versorgt wurden. 60 Zähne wurden wurzelkanalbehandelt und mit Ah Plus und Guttapercha gefüllt. Die Kanaleingänge wurden mit einer dünnen Schicht Glasionomerzement abgedeckt. Eine Aufbaufüllung aus dem Komposit Z250 (3M ESPE) wurde mit 5 verschiedenen Adhäsivsystemen geklebt: 1. Adper Prompt L-Pop (3M ESPE), 2. Xeno III (Dentsply De Trey), 3. Clearfil SE

Bond (Kuraray), 4. FL Bond (Shofu) und 5. Single Bond (3M ESPE). Es folgten 500 Zyklen Thermocycling zwischen 5 °C und 55 °C und dann ein Farbstoffpenetrationstest. Die signifikant geringsten Undichtigkeiten zeigten die Proben, die mit Single Bond und mit Clearfil SE Bond geklebt wurden. Die anderen drei Systeme unterschieden sich statistisch nicht voneinander. In dieser Studie war Clearfil SE Bond das einzige self-etching System, das gleich gute Ergebnisse wie das total-etching System Single Bond erzielen konnte [59].

ROBERTS et al untersuchten, ob über die Wände der Pulpenkavität verschmierte Reste von nicht abgebundenem Wurzelkanalsealer einen Effekt auf die Dichtigkeit von mit self-etching Systemen adhäsiv befestigten Aufbaufüllungen hat. Gemessen wurde der Einfluss von unterschiedlichen Protokollen zur Entfernung vom Sealer Ah Plus auf die Microtensile Untersuchung von zwei self-etching Bondingsystemen. Während des Auftragens vom Adhäsiv wird um die Kanaleingänge vorhandener Sealer über die gesamte Pulpenkavität verteilt. Auch wenn Eugenol-basierte Zemente einen vernachlässigbaren Effekt auf die Bonding-Qualität von self-etching Adhäsiven zum Dentin haben [85], ist der Effekt durch Kontamination mit dem epoxid-basierten Sealer Ah Plus unbekannt. Endosolv R (Septodont USA) ist ein Lösungsmittel für phenolischen Kunststoff Formaldehyd Sealer [44] und scheint daher effektiv Ah Plus vom Dentin lösen zu können, der Effekt auf die Adhäsivsysteme ist aber unbekannt. 40 Zähne wurden in 4 Gruppen je zur Hälfte mit dem 2-Flaschen Adhäsiv Clearfil SE Bond und mit dem Einflaschenadhäsivsystem Clearfil Tri-S Bond versorgt. Gruppe 1 wurde nicht mit Sealer kontaminiert, die übrigen Gruppen wurden für 5 Minuten mit Ah Plus kontaminiert. Bei Gruppe 2 erfolgte die Reinigung mit Wattepellets, bei Gruppe 3 mit ethanolgetränkten Wattepellets. Bei Gruppe 4 erfolgte die Reinigung mit Endosolv R getränkten Wattepellets und anschließender Reinigung mit Wasserspray. Es folgten die adhäsiven Aufbaufüllungen und die Microtensile Untersuchungen. Es war kein signifikanter Unterschied zwischen der unkontaminierten Kontrollgruppe und der Endosolv R Gruppe sowie zwischen der Wattepellet und Ethanol Gruppe. Die Anwendung von Endosolv R und anschließendem Wasserspray entfernte die größten Teile des Ah Plus von der Dentinoberfläche. Dieses Protokoll beeinflusste nicht die Fähigkeit der Adhäsivsysteme, eine funktionierende Hybridlayer auszubilden. Die Entfernung

des überschüssigen Ah Plus mit Wattepellets oder Ethanol scheint nicht effektiv zu sein, um einen adhäsiven koronalen Verschluss zu gewährleisten [88].

5.3 Schmelz- und Dentinbonding

In den letzten Jahren wurden auf dem Gebiet der adhäsiven Füllungstechnik mit plastischen Kompositmaterialien sehr große Fortschritte erzielt. Grund für die gesteigerte Forschungstätigkeit in diesem Bereich sind die zunehmenden ästhetischen Ansprüche der Patienten und damit der Wunsch nach zahnfarbenen Füllungsmaterialien sowie die vermehrte Verurteilung des dentalen Amalgams [4,15,65,90].

Trotz enormer Fortschritte der Adhäsivsysteme bleibt die geklebte Verbindung die schwächste Stelle der zahnfarbenen Restaurationen [10]. Wenn die Dentin/Adhäsiv Zwischenschicht der Mundhöhle ausgesetzt ist, kommt es zu marginalen Verfärbungen, schlechter marginaler Adaptation und schrittweise zum Verlust der Füllung [10,68,69].

Die Möglichkeit des adhäsiven Befestigens von Kunststoffen am Zahnschmelz wurde schon im Jahr 1955 von Bounocore mit der Schmelzätzttechnik entdeckt. Dabei wird durch Anätzen des Zahnschmelzes mit 30-40%iger Phosphorsäure eine raue Oberfläche erzeugt, die durch die unterschiedliche Säurelöslichkeit der Schmelzprismen im Zentrum und in der Peripherie entsteht. In diesen Mikrorauigkeiten können sich Kunststoffe durch mechanische Retention verankern [11]. Allerdings sind dabei die retentiven Bereiche der Füllungen auf die Schmelzränder begrenzt. Um den Kräften der Polymerisationsschrumpfung von Kunststoffen entgegenzuwirken, ist eine Haftung der Füllung am Schmelz und am Dentin wichtig [11,35,90].

Die Polymerisationsschrumpfung schafft vor allem Probleme an den Füllungsändern, da die Schrumpfung von den Rändern zum Zentrum hin gerichtet ist. Die Schrumpfung ist beeinflusst von den Materialeigenschaften des Komposits (Füllergehalt, Steifigkeit) als auch von der Verarbeitungsmethode (Materialmenge, Geschwindigkeit der Polymerisation, Richtung der Lichtapplikation) [62,63,90]. So lange die Füllung am Schmelz und Dentin haftet, bilden sich durch die Polymerisationsschrumpfung interne

Spannungen aus. Wenn die Haftung am Schmelz größer als die internen Spannungen ist, bleibt die Füllung am Schmelz gebonded. Überschreiten die Schrumpfkraftkräfte die Stärke des Bondings werden sich Randspalten ausbilden, die von Mikroorganismen besiedelt werden können [48,90].

Das Bonding am Dentin ist wesentlich komplexer als am Schmelz. Dentin hat eine tubuläre Struktur, es tritt Flüssigkeit aus dem Dentin aus und nach dem Schleifen ist das Dentin von einer Schmierschicht bedeckt [34,39,76]. Die Hauptvorteile des Dentinbondings sind zum einen eine Verminderung der postoperativen Sensibilitäten sowie die mechanische Unterstützung der Schmelzhaftung [39,106]. Die Entwicklung eines funktionierenden Dentinbondings war ein langer Prozess, bei dem inzwischen sieben Generationen durchlaufen wurden. Unter den ersten Entwicklern eines funktionierenden Dentinbondings waren Kramer and McLean (1952), die GPDM verwendeten, um den relativ hydrophoben Kunststoff an das Dentin zu kleben [29]. Bei den ersten beiden Generationen wurde keine zuverlässige Verbindung zur Zahnhartsubstanz geschaffen [12], es wurde nur eine Verankerung an der das Dentin bedeckenden Schmierschicht erreicht. Die Schmierschicht wird vom Dentin gebildet und besteht aus Calcium, Phosphat und organischem Material [31,109]. TAO et al. zeigten, dass die Schmierschicht eine Schwachstelle ist, es wurden Haftungen von 3-7 MPa gemessen. Nach Abriss des Komposits zeigten sich auf beiden Seiten Reste der Schmierschicht, was für ein Versagen dieser Schicht an sich spricht [29,102]. Es kam also nicht zu einem adhäsiven Versagen des Dentinbondings, sondern zu einem kohäsiven Versagen der Schmierschicht. Durch Verwendung amphiphiler Moleküle wie z.B. Hydroxyethylmethacrylat (HEMA) konnte eine tiefere Infiltration der Schmierschicht erreicht werden und die Haftung auf 10-12 MPa gesteigert werden [28,30]. Eick et al. zeigten eine Penetration durch die Schmierschicht bis in das intakte Dentin [30].

Für eine suffiziente Dentinhaftung ist die Ausbildung einer qualitativ hochwertigen Hybridschicht entscheidend [33,71,79,80,108]. Um dies zu erreichen muss nicht nur die Schmierschicht infiltriert werden, sondern eine mechanische Verbindung zum darunter liegenden Dentin erreicht werden. Bei Primern der dritten Generation wurde eine schwache Säure zugesetzt, z.B. 1-4%ige Maleinsäure. Diese löst die anorganischen Bestandteile der

Schmierschicht auf und demineralisiert oberflächlich das darunter liegende Dentin. Zurück bleibt ein Netzwerk aus Kollagenfasern [77,83,95]. Das oberflächliche Dentin wird durch diese Konditionierung bis zu einer Tiefe von mindestens 2-5µm demineralisiert [104]. Die Tiefe hängt ab von der Art der Säure, der Einwirkzeit, der Konzentration der Säure und der Pufferkapazität des Dentins [104]. Die ebenfalls im Primer enthaltenen amphiphilen Monomere wie zum Beispiel Hydroxyethylmethacrylat (HEMA) oder Triethylenglycol-dimethacrylat (TEGDMA) infiltrieren die freiliegenden Kollagenfasern und kopolymerisieren dann mit dem anschließend aufgetragenen Kunststoff in Form von Bondingharz [29,81]. Der ungefüllte Kunststoff kann so in die Zwischenräume des Kollagenfasernetzwerks bis in das entmineralisierte Dentin eindringen. Diese Schicht wird als Hybridlayer bezeichnet und ist der wichtigste Fortschritt in der Entwicklung des erfolgreichen Dentinbondings [14].

Die Dentinbondingsysteme der 4. Generation bestehen weiterhin aus mehreren Flaschen. Neuerung ist, dass Schmelz und Dentin mit Phosphorsäure angeätzt werden. Die Phosphorsäure wird in einem Zwischenschritt abgespült, dadurch werden alle gelösten Bestandteile entfernt [94,101]. Das gemeinsame Anätzen von Schmelz und Dentin wird als Total Etching bezeichnet [54]. Wiederum bildet ein Primer die Verbindung zwischen hydrophilem Zahn und hydrophobem Kunststoff [107]. Die Monomermoleküle dringen in die wassergefüllten Räume zwischen den Kollagenfibrillen ein, die vorher von den gelösten Hydroxylapatitkristallen ausgefüllt waren [82]. Weiterhin kann der Kunststoff durch Entfernung der Schmierschicht nun in die freiliegenden Dentintubuli eindringen und dadurch sowohl mikro- als auch makromechanische Verbindungen eingehen [19,82]. Wasserverdrängende Substanzen wie Ethanol oder Aceton werden üblicher Weise verwendet, um die Penetration der Monomere zu erleichtern und um einen direkten Kontakt zwischen dem Komposit und den Kollagenfasern zu ermöglichen [36].

Mit der 5. Generation wurde auf die Aufteilung des Primer und Bondingharzes auf mehrere Flaschen verzichtet, die amphiphilen Moleküle zur Infiltration des Kollagennetzwerks und das Bondingharz befinden sich in einer Substanz. Die Haftwerte der Verbindung sind allerdings schlechter als die der 3. und 4. Generation [84,100,101]. Trotzdem haben die Produkte der 5. Generation

wegen der einfacheren Anwendung großen Erfolg. Als Konsequenz daraus wurden Systeme entwickelt, die in der Anwendung noch einfacher waren [98].

Der nächste Entwicklungsschritt war die Einführung von selbstätzenden Adhäsiven, bei denen ein Abspülen der Säure entfällt und somit kein extra Ätzschrift durchgeführt werden muss. Der „self-etch-Primer“ wird nur luftgetrocknet und verbleibt daher in der modifizierten Schmierschicht [10]. Schmelz und Dentin werden in einem Schritt konditioniert, anschließend wird ein Bondingharz aufgetragen. Die Wirkung dieser Systeme beruht auf ihrer Fähigkeit, die Schmierschicht zu infiltrieren, Hydroxylapatit teilweise zu lösen und eine kunststoffinfiltrierte Zone mit eingebundenen Mineralien zu erzeugen [82,106]. Aufgrund der schwach sauren Aktivität dieser Materialien ist ein Entfernen der Schmierschicht aus den Dentinkanälen nicht möglich. Immerhin können selbstätzende Primer das Dentin bis zu einer Tiefe von 2 µm hybridisieren, der Belastung der Polymerisationsschrumpfung kann standgehalten werden [36,73]. Da bei diesen Systemen der 6. Generation der Spülschritt entfällt, hat sich die Benutzerfreundlichkeit weiter verbessert, die Anwendungszeit hat sich verkürzt. Außerdem sollen durch die Vereinfachung der Anwendung die Möglichkeiten für Anwendungsfehler vermindert werden.

Bei den Adhäsivsystemen der 7. Generation wurden Ätzel, Primer, Adhesive und Bondingharz in einer Flasche vereint. Damit wurde die Anwenderfreundlichkeit maximiert, die Möglichkeit für Anwendungsfehler minimiert [98]. Studien über Dentinadhäsion haben immer wieder gezeigt, dass die Haftwerte des Bondings stark vom Anwender abhängen [93]. Daher ist es schwierig zu vergleichen, ob die Adhäsionswerte einer Generation der einer anderen überlegen sind [98]. Der Markt hat sich zugunsten der einfacheren Anwendung entwickelt. Die Gefahr dabei ist, dass der Markt sich von Systemen mit besserer Leistung hin zu Systemen mit einfacherer Anwendung verschiebt. Trotzdem könnten die Systeme mit einfacherer Anwendung wegen der geringeren Gefahr der Anwendungsfehler klinisch die besseren Ergebnisse erzielen [98].

SÖDERHOLM et. al. haben Dentinadhäsive der 4. und 7. Generation verglichen. Diese Studie zeigt bessere Ergebnisse für die Systeme der 4. Generation bei Anwendung nach Herstelleranweisung. Außerdem erzielen

erfahrene Anwender bessere Ergebnisse als unerfahrene, dieser Effekt ist allerdings geringer als der Unterschied zwischen den Systemen der 4. und 7. Generation. Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass auch unerfahrene Anwender mit Systemen der 4. Generation trotz komplizierterer Anwendung ein besseres Dentinbonding erreichen als mit Produkten der 7. Generation [98].

6 Material und Methoden

6.1 Vorbereitung der Versuchszähne

Für die Studie wurden 50 extrahierte menschliche bleibende Molaren ausgewählt. Es wurden ausschließlich zweiwurzelige Zähne verwendet, die nach Extraktion in 10%-iger Formalinlösung gelagert worden sind. Zähne mit größeren Füllungen oder kariösen Defekten wurden aussortiert. Weichteilreste wurden mit Scalern und Skalpellen entfernt. Die Zähne wurden mit einem zylindrischen Diamanten unter Wasserkühlung mit einem roten Winkelstück der Firma KaVo bei 100.000 Umdrehungen/min bis zur Schmelz-Zement-Grenze dekapitiert.

Daraufhin wurden die Wurzelkanäle mit einem Wurzelkanalinstrument der Größe ISO 10 auf Durchgängigkeit geprüft. Nicht aufbereitbare Zähne und Molaren mit mehr als vier Wurzelkanälen wurden aussortiert.

Die Zähne wurden per Zufall auf 5 Gruppen verteilt.

Während des gesamten Versuches wurden die Zähne unter Wasser gelagert, um ein Austrocknen zu verhindern.

6.2 Probenherstellung

6.2.1 Wurzelkanalaufbereitung

Die Zähne wurden konventionell mit Kerr-Räumern und Headström-Feilen (Maillefer, Ballaigues, Schweiz) aufbereitet. Die Arbeitslänge wurde 1mm vor den Apex gewählt. Alle Kanäle wurden bis Größe ISO 50 aufbereitet. Stellte sich ein Zahn als nicht aufbereitbar dar, oder kam es während des Instrumentierens zu einem Instrumentenbruch oder einer Wurzelfraktur, wurde der Zahn ausgeschlossen.

Bei Wechsel der Handinstrumente wurde abwechselnd mit 2,5%-iger Natriumhypochloritlösung und 3%-iger H_2O_2 -Lösung gespült. Die Instrumente wurden in einem Clean-Stand (Maillefer, Ballaigues, Schweiz) gesäubert. Die letzte Spülung erfolgte mit Ethanol, dann wurden die Kanäle mit Papierspitzen

(Roeko, Langenau) getrocknet. Die Guttaperchaspitzen ISO 50 (Maillefer, Ballaigues, Schweiz) wurden eingepasst. Nachdem drei Papierspitzen trocken aus den Kanälen entnommen wurden, wurde mittels Lentulo-Spirale der Größe ISO 40 (Maillefer, Ballaigues, Schweiz) der Sealer AH Plus (Dentsply DeTrey, Konstanz) in die Kanäle gebracht. AH Plus wurde nach Herstellerangaben 1:1 angemischt und verarbeitet. Die Guttaperchastifte wurden mit Sealer bestrichen und in die Kanäle eingebracht. Der Überstand wurde mit einem erhitzten Kugelstopfer abgetrennt und versäubert. Überschüssiger Sealer wurde mit Hilfe von Schaumstoffpellets entfernt.

AH Plus Paste A	AH Plus Paste B
Bisphenol-A Epoxidharz	Dibenzyl-Diamin
Bisphenol-F Epoxidharz	Aminoadamantan
Calciumwolframat	Tricyclodecan-Diamin
Zirkoniumoxid	Calciumwolframat
Hochdisperses Siliciumdioxid	Zirkoniumoxid
Eisenoxid	Hochdisperses Siliciumdioxid
	Silikonöl

Tab. 1 Bestandteile AH Plus (Angaben Dentsply DeTrey, Konstanz)

Anschließend wurden die Zähne nach ihrer Gruppenzugehörigkeit weiterbehandelt. Die Aufbaufüllungen wurden direkt im Anschluss aufgebracht, um die klinische Situation möglichst gut zu simulieren. Die Aushärtezeit von AH Plus liegt nach Herstellerangaben bei mindestens 8 Stunden.

6.2.2 Aufbaufüllungen

1. Bei Gruppe eins wurde ohne weitere Vorbehandlung einzig eine Aufbaufüllung mit dem hochviskösen Glasionomerzement Ionofil Molar AC (Voco, Cuxhaven) aufgebracht.

Sie diente als Kontrollgruppe.

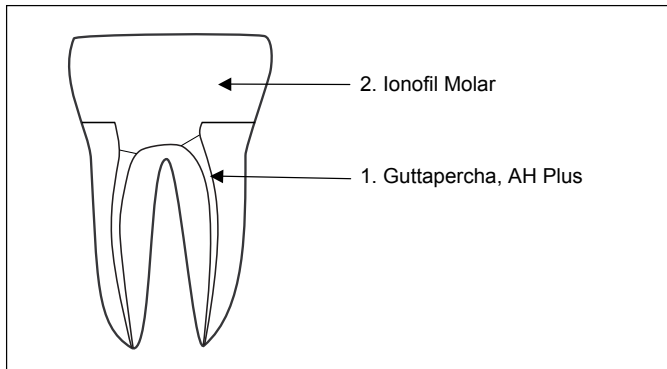


Abb. 1 Aufbaufüllung Gruppe 1

2. Bei Gruppe zwei wurden die Kanaleingänge mit dem Phosphatzement Harvard Cement normal härtend (Harvard Dental International, Hoppegarten) abgedeckt. Die Anwendung erfolgte nach Herstellerangaben. Der Zement wurde mit einem Planator (Elefantenfußstopfer) eingebracht. Nach der vorgeschriebenen Abbindezeit von mindestens 7½ Minuten wurde die gesamte Dentinoberfläche mit dem Dentinadhäsiv Syntac Classic (Primer und Adhesive, Vivadent, Schaan, Liechtenstein) nach Herstellerangaben vorbehandelt. Der Primer wurde mit dem Pinsel aufgetragen und nach 30s verblasen. Dann wurde Adhesive mit dem Pinsel aufgetragen und nach 20s verblasen. Die Fläche wurde dünn mit Heliobond (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) bestrichen, überschüssiges Heliobond vorsichtig verblasen und für 30s lichtgehärtet (Translux CL, Heraeus Kulzer, Dormagen).

Syntac Primer	Wasser Aceton Maleinsäure Dimethacrylat
Syntac Adhesive	Wasser Glutaraldehyd Maleinsäure Polyethylenglycoldimethacrylat
Heliobond	Bis-GMA Triethylenglycoldimethacrylat

Tab. 2 Bestandteile Syntac Classic nach Herstellerangaben

Dann wurde Inkrementweise eine Aufbaufüllung mit dem Microhybrid-Komposit Tetric Ceram (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) in der Farbe A1 aufgebracht und jedes Inkrement für 60s lichtgehärtet.

Bis-GMA	Gesamtmonomeranteil: 18.8 Gew%
Urethandimethacrylat	
Triethylenglycoldimethacrylat	
Bariumglas	Gesamtfüllstoffgehalt: 82 Gew%
Ytterbiumtrifluorid	
Siliziumdioxid	
Mischoxid	
Additive	Gesamtadditivanteil: 0.2 Gew%
Initiatoren	
Stabilisatoren	
Pigmente	

Tab. 3 Bestandteile Tetric Ceram nach Herstellerangaben

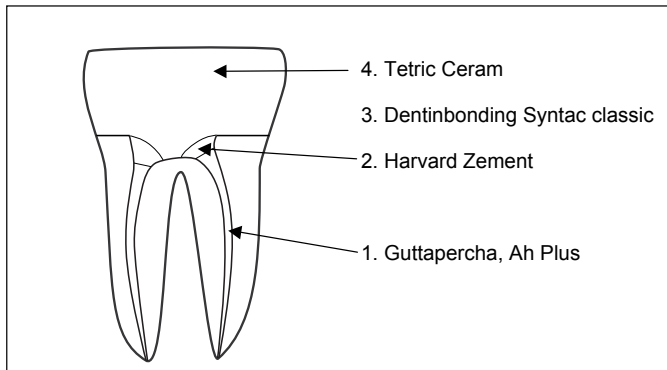


Abb. 2 Aufbaufüllung Gruppe 2

3. Die Oberfläche der dritten Gruppe wurde direkt nach dem Versäubern mit Syntac Classic vorbehandelt, Heliobond aufgetragen und ausgehärtet. Die Anwendung von Syntac Classic erfolgte wie bei den Proben aus Gruppe 2. Über den Bereich der Kanaleingänge wurde eine Schicht Tetric Flow (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) als fließfähiges, lichthärtendes Feinpartikel-Hybridkomposit aufgebracht und für 30s ausgehärtet. Aufgrund der geringen Viskosität ist die Benetzung der Pulpenkavität sehr gut. Analog zu Gruppe 2 wurde dann eine Aufbaufüllung in Inkremententechnik mit Tetric Ceram erstellt.

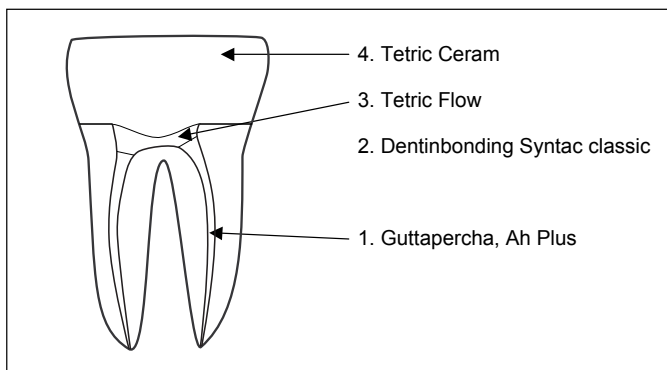


Abb. 3 Aufbaufüllung Gruppe 3

Bis-GMA	Gesamtmonomeranteil: 35 Gew%
Urethandimethacrylat	
Triethylenglycoldimethacrylat	
Bariumglas	Gesamtfüllstoffgehalt: 64,6 Gew%
Ytterbiumtrifluorid	
Ba-Al-Fluorsilikatglas	
hochdisperses Siliziumdioxid	
Mischoxid	
Katalysatoren	Gesamtadditivanteil: 0.2 Gew%
Stabilisatoren	
Pigmente	

Tab 4 Bestandteile Tetric Flow nach Herstellerangaben

4. Bei Gruppe vier wurde nach der Wurzelfüllung und Versäubern die Dentinoberfläche für 15s vollständig mit Total Etch (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) geätzt, dann mit Wasserspray 30s gereinigt und mit Luft getrocknet. Total Etch besteht aus 37 Gew% Phosphorsäure in Wasser und kann zur Schmelzätzung und Dentinkonditionierung verwendet

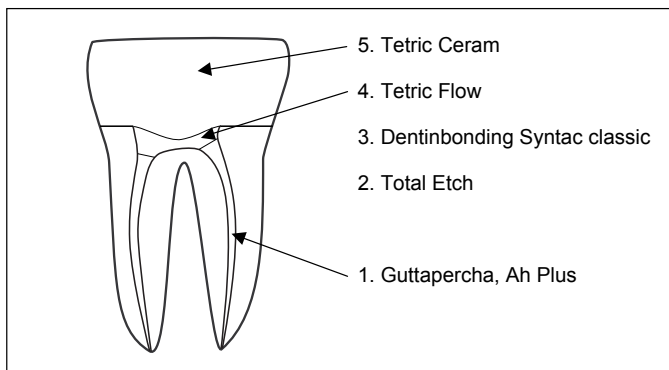


Abb. 4 Aufbaufüllung Gruppe 4

werden. Die weitere Vorgehensweise entsprach den Proben aus Gruppe 3, also Dentinbonding mit Syntac Classic und Heliobond, Aufbaufüllung mit Tetric Flow und Tetric Ceram.

5. Die Kanaleingänge der fünften Gruppe wurden nach Versäubern der Wurzelfüllung mit Harvard Cement normal härtend abgedeckt. Nach der Aushärtezeit wurde die komplette Oberfläche mit Total Etch für 15s geätzt, 30s mit Wasserspray gereinigt und mit Luft getrocknet. Nach Vorbehandlung mit Syntac Classic, Auftragen und Aushärten von Heliobond wurde die Aufbaufüllung in Inkrementtechnik aus Tetric Ceram erstellt.

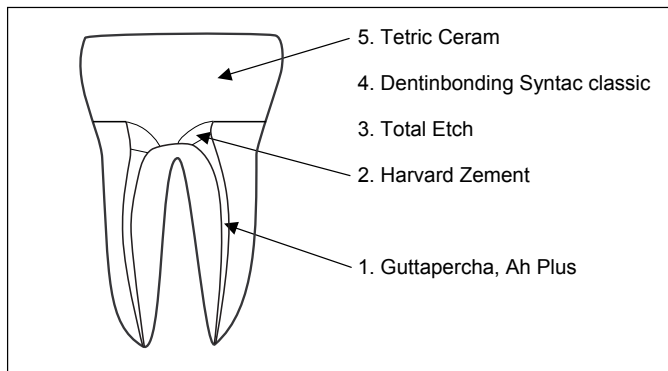


Abb. 5 Aufbaufüllung Gruppe 5

Alle Zähne wurden nach Behandlung für 14 Tage in Ringerlösung gelagert.

6.2.3 Thermocycling

Als Belastungssimulation wurden die Proben nach der Lagerung in einem Thermocycler für 24 Stunden abwechselnd in Wasserbäder mit + 5 °C und + 55 °C getaucht. Die Verweildauer in den Bädern betrug jeweils 30 Sekunden, die Transportzeit zwischen den Wasserbädern betrug 15 Sekunden. Es wurden 1150 Zyklen durchgeführt. Die Wassertemperatur wurde kontinuierlich geprüft

und korrigiert, um einen verlässlichen Effekt durch das Thermocycling zu erzielen.

6.2.4 Färbung und Schnitte

Anschließend wurden die Proben zum Anfärben der undichten Füllungsanteile für 24 Stunden in 0,5% Fuchsin-basische Lösung eingelegt.

Die angefärbten Zähne wurden dann mit einer Diamantsäge (Isomet, Buehler, Lake Bluff, IL, USA) unter Wasserkühlung in mesio – distaler Richtung parallel zur Zahnachse in eine vestibuläre und eine orale Hälfte zersägt.

6.2.5 Vermessung der undichten Füllungsanteile

Mit einem Lichtmikroskop (SV 11, Zeiss, Jena) wurden bei 130-facher Vergrößerung die von Farbstoff angefärbten Anteile der angeschnittenen Füllungsänder vermessen. Die Aufzeichnung der Bilder erfolgte mit einer 3 CCD Kamera (Sony, Köln) und einem Frame Grabber (Matrox Meteor RGB / AVT Horn, Aalen). Die Bilder wurden mit des Software KS 100 (Zeiss, Jena) digitalisiert und mit der Software Win Mes 2.0 vermessen.

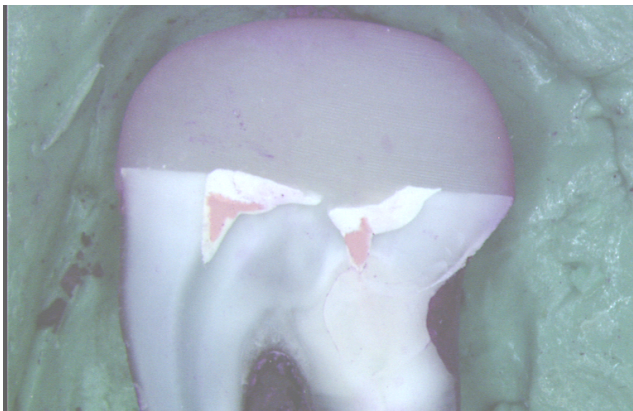


Abb 6 Beispiel für eine Aufbaufüllung ohne undichte Füllungsanteile aus Gruppe 5

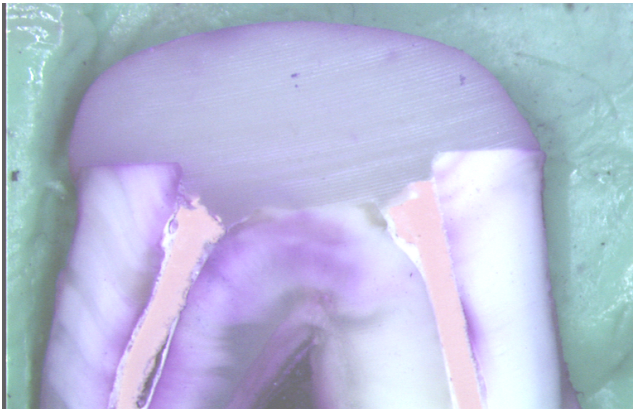


Abb 7 Zu 46% undichte Füllung mit Farbstoffpenetration vom linken Füllungsrand aus, Beispiel aus Gruppe 3

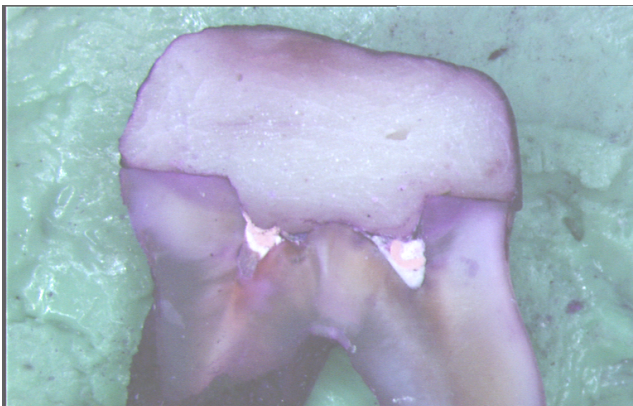


Abb 8 Zu 100% von Farbstoff penetrierter Füllungsrand, Beispiel aus Gruppe 1

6.3 Statistische Datenanalyse

Die Datenanalyse wurde mit SPSS 15.0 for Windows (SPSS Inc, Chicago, IL, USA) durchgeführt.

7 Ergebnisse

Die exakten Einzelergebnisse werden im Anhang dargestellt.

Als Übersichtsdarstellung zeigt der Boxplot in Abb 6 die undichten Füllungsanteile. Dabei werden der Mittelwert, die Standardabweichung und die Extremwerte graphisch dargestellt. Für alle Gruppen gilt $n=20$.

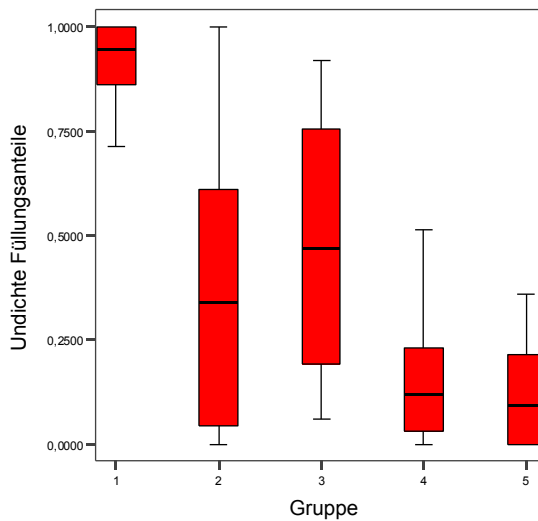


Abb 6 Boxplot der Ergebnisse für undichte Füllungsanteile

Um die Eignung für weitere statistische Tests zu festzustellen, wurden die Daten zunächst innerhalb der Gruppen mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Dabei zeigten lediglich die Gruppen 3 und 4 eine Normalverteilung ($p \leq 0,05$).

Gruppe		Kolmogorov-Smirnov(a)		
		Statistic	df	Sig.
Dichtigkeit	1	,208	20	,023
	2	,205	20	,027
	3	,162	20	,181
	4	,155	20	,200(*)
	5	,231	20	,007

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

Tab 5 Test auf Normalverteilung

Um zu testen, ob zwischen den Gruppen ein Unterschied besteht, wurde als nicht parametrischer Test zunächst der Kruskal-Wallis Test durchgeführt. Der Test ergab hoch signifikante Unterschiede ($p \leq 0,001$) zwischen den Gruppen, auch wenn nur Gruppe 2-5 untersucht werden und die nicht adhäsive Gruppe mit Glasionimerzementfüllungen ausgeschlossen wird.

Die graphische Darstellung (Abb. 6) lässt vermuten, dass drei Gruppenklassen existieren:

1. Die Glasionomerzement-Gruppe 1
2. Gruppe 2 und 3, bei denen kein Total Etching angewendet wurde
3. Gruppe 4 und 5 mit der Anwendung von Total Etching

Um dies zu prüfen, ob sich die einzelnen Gruppen unterscheiden, wurden jeweils zwei Gruppen miteinander verglichen. Als Testverfahren kam der Mann-Whitney U-Test zum Einsatz.

Gruppe	1	2	3	4	5
1		$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
2			$p = 0,113$	$p = 0,080$	$p = 0,007$
3				$p < 0,001$	$p < 0,001$
4					$p = 0,294$
5					

Tab 6 Ergebnisse des Mann-Whitney Tests

Im direkten Vergleich der einzelnen Gruppen untereinander kann durch den Mann-Whitney Test kein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) bei den Gruppenpaaren 2/3, 2/4 sowie 4/5 nachgewiesen werden.

Folgende Ergebnisse lassen sich daraus ziehen:

- Gruppe 1 ist signifikant schlechter als alle anderen Gruppen.
- Gruppe 5 liefert vom Mittelwert her die geringsten Undichtigkeiten, ein signifikanter Unterschied lässt sich allerdings nur gegenüber den Gruppen 1 bis 3, nicht zur Gruppe 4 nachweisen.

Um die Ergebnisse der einzelnen Gruppen besser untereinander vergleichen zu können, wurde zusätzlich als Varianzanalyse eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt. Da der Kolmogorov-Smirnov Test keine Normalverteilung für alle Gruppen zeigte, ist die Durchführung der ANOVA eigentlich nicht erlaubt, da die Voraussetzung der Homogenität der Varianzen verletzt wurde. Bei gleichen Gruppengrößen ist die ANOVA diesbezüglich allerdings sehr robust.

Auch die ANOVA ergibt einen hochsignifikanten ($p < 0,001$) Unterschied zwischen den Gruppen. Da von Interesse ist, welche Gruppen sich signifikant voneinander unterscheiden wurde als post-hoc-Test der Duncan Test angewendet.

Gruppe	N	Subset for alpha = .05		
		2	3	1
5	20	,110070		
4	20	,151125		
2	20		,354325	
3	20		,480560	
1	20			,910425
Sig.		,551	,069	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 20,000.

Tab 7 Duncan Test

Tab 7 zeigt das Ergebnis des Duncan Tests. Dabei sind die Gruppen, deren Mittelwerte sich nicht signifikant ($p \leq 0,05$) voneinander unterscheiden, in jeweils einer Spalte aufgeführt.

Das bedeutet, dass Gruppe 1 signifikant mehr undichte Füllungsanteile hatte als alle anderen Gruppen.

Die Gruppen 2 und 3 ohne total etching lassen sich nicht signifikant voneinander unterscheiden, auch wenn der Mittelwert von Gruppe 2 mit Verschluss der Kanaleingänge mit Phosphatzement etwas besser abgeschnitten hat.

Die Gruppen 4 und 5 mit total etching zeigen keinen signifikanten Unterschied. Auch hier hat vom Mittelwert her die Gruppe 5 mit Verschluss der Kanaleingänge mit Phosphatzement bessere Ergebnisse erzielt, die aber statistisch nicht aussagekräftig sind.

8 Diskussion

Bis heute stellt jede endodontische Behandlung einen Versuch dar, einen Zahn zu erhalten. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass koronare Undichtigkeiten eine große Bedeutung beim Versagen von Wurzelkanalbehandlungen haben [115]. Mit der vorliegenden Arbeit sollen verschiedene Methoden verglichen werden, einen koronaren dichten Abschluss durch eine adhäsiv befestigte Füllung zu erreichen und damit die Prognose für einen wurzelkanalbehandelten Zahn zu verbessern.

8.1 Diskussion von Material und Methoden

Es handelt sich dabei um eine in vitro Studie, die möglichst praxisnah gestaltet wurde. Trotzdem müssen bei der Studiengestaltung Kompromisse zwischen der Realität, der Standardisierung und Durchführbarkeit eingegangen werden. Als Maßnahme zur Praxisnähe wurden menschliche Zähne ausgewählt. Als Materialien für die Wurzelkanalfüllung wurden AhPlus und Guttapercha verwendet, diese Materialkombination findet im klinischen Alltag häufig Anwendung. Die Aufbaufüllungen wurden mit Materialien (Tetric Ceram, Syntac Classic, Harvard Cement) erstellt, die standardmäßig in der Praxis Anwendung finden.

Für die Wurzelkanalfüllungen gibt es verschiedene Methoden. DALAT et. al. haben als Kalttechniken die Zentralstifttechnik, die laterale Kondensation und die vertikale Kondensation, als Warmtechniken die Thermafil und die Ultrafil Technik verglichen und dabei keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Füllungsstechniken festgestellt [17]. Diese Ergebnisse werden von DUMMER et. al. [24,25] und GUTMANN et. al. [46] bestätigt, die die laterale Kondensation mit der Thermafil Technik verglichen haben. Für diese Studie wurde die Zentralstiftmethode ausgewählt.

Um den Alterungsprozess der Füllungen zu untersuchen, sind in vivo Versuche der Goldstandart [2,39]. Allerdings besteht wegen der langen Laufzeit klinischer Studien die Gefahr, dass die dentalen Füllungsmaterialien schon veraltet sind,

bevor verwertbare Ergebnisse vorliegen. Daher sind vorklinische Laborversuche ebenfalls sinnvoll [34,37]. Die gängigste in vitro Methode, um das Verhalten von Kompositfüllungen vorherzusagen, ist die Einlagerung in Wasser [13,20]. Die Lagerungszeit beträgt dabei wenige Monate bis zu 4-5 Jahren [20]. Als Lagerungsflüssigkeit wird meistens Wasser verwendet. Um die klinische Situation besser zu simulieren könnte künstlicher Speichel verwendet werden, allerdings zeigten KITASAKO et al, dass ein Wechsel des Mediums zu keiner Änderung der Abnahme der Bondingstärke führt [56].

Es gibt verschiedene Methoden, um die Zersetzung der adhäsiven Verbindung gegenüber der alleinigen Lagerung in Wasser zu beschleunigen. Dazu gehören die Alterung durch Thermocycling [1,23], mechanische Belastung und durch pH-Wechsel. Dabei wird die Belastung in regelmäßigen Zyklen wiederholt, um eine Materialermüdung hervorzurufen.

Thermocycling soll die Temperaturschwankungen, die durch Essen, Trinken und Atmung hervorgerufen werden, simulieren [42]. Ein Review von GALE und DAVSON sagt aus, dass 10.000 Zyklen etwa einem Jahr in vivo Funktion entsprechen [42]. Der künstlich beschleunigte Alterungsprozess kann durch zwei Effekte hervorgerufen werden. Zum einen kann das heiße Wasser durch Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit die Hydrolyse der Verbindungskomponenten und anschließende Wasseraufnahme fördern [2,42]. Zum anderen kann es durch unterschiedliche Dehnungskoeffizienten zu Expansions- und Kontraktionsvorgängen zwischen Zahn und Füllungsmaterial kommen, die zu Spannungen am Füllungsrand und zur Ausbreitung von Brüchen an der Verbindung führen können [2,42]. Wenn ein Spalt entstanden ist kann es durch Dimensionsänderungen zu Ein- und Ausfluss von Flüssigkeit kommen [20,42]. Abbauprodukte und unpolymerisierte Monomere können ausgewaschen werden [50,67].

Eine weitere Möglichkeit die natürliche Belastung der Zähne zu simulieren, wäre die Kaubelastung. Zähne sind ständig durch Kaubewegungen, Schlucken oder Parafunktionen belastet [2]. Mechanische Belastungstests durch Kausimulatoren werden verwendet, um die Ermüdung der adhäsiven Verbindung zu simulieren [7,72]. Es entstehen vorübergehende und permanente Spalten, in die Wasser eindringen kann [53]. Die Einlagerung von

Wasser in die Kopplungsschicht führt mit der Zeit zu einer Abnahme der Beständigkeit des Bondings [39].

Durch eine Kombination von Thermocycling und mechanischer Belastung kann die Abnahme der Bondingstärke wesentlich beschleunigt werden als mit nur einer der beiden Methoden [7].

In dieser Studie wurden als Belastungssimulation 1150 Zyklen Thermocycling mit einem Temperatursprung von 5°C zu 55°C ausgewählt. Um die möglichen Ermüdungstests zu vervollständigen, hätte die Studie um mechanische Belastung der Proben im Kausimulator erweitert werden können.

Um die Qualität der adhäsiven Verbindung zu testen, stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Eine gängige Methode ist die in dieser Studie verwendete Suche nach Undichtigkeiten. Damit wird die Schlüsselfunktion von adhäsiven Restaurationen untersucht, das Dentin von der Umgebung abzusichern und eine Schädigung der Pulpa und weiteren Zerfall zu vermeiden. Dabei unterscheidet man nach der Größe dieser Fehlstellen. Sind große Undichtigkeiten vorhanden und können Wasser, große Partikel und Bakterien in den Spalt eindringen, spricht man von „Microleakage“. Sind die Fehlstellen so klein, dass nur Wasser und kleine Moleküle eindringen können, spricht man von „Nanoleakage“ [20]. Microleakage wurde von KIDD als klinisch nicht erkennbarer Durchtritt von Bakterien, Flüssigkeit, Molekülen und Ionen zwischen Zahn und Füllungsmaterial definiert [55]. Microleakage wurde durch viele verschiedene Techniken versucht zu messen, die sich in den Ergebnissen sehr unterscheiden [51]. Dabei sind wie in der hier durchgeführten Studie organische Färbemittel die am weitesten verbreitete Methode für in vitro Versuche. Die Zähne werden dafür in den Farbstoff eingelagert und im Anschluss kann die Infiltration gemessen werden. Die Farbstoffe können auch an verschiedenen große Partikel gekoppelt werden oder verschiedene Affinitäten für die Substrate haben, allerdings führt das zu keiner signifikanten Änderung der Ergebnisse [51]. Nachteil der Farbstoffmethode ist, dass es sich um eine qualitative Untersuchung handelt.

Um eine quantitative Messung von Microleakage durchzuführen gibt es verschiedene Modelle. PAGLIARINI et al. haben den Flüssigkeitsstrom entlang

der Grenzschicht zwischen Dentin und Komposit gemessen [74]. DERKSON et al., BOUILLAGUET et al. und DEL-NERO et al. haben den Flüssigkeitsstrom vom Pulpenkavum zur versiegelten okklusalen Dentinoberfläche hin gemessen [9,21,22]. Vorteil der Methode ist, dass die Proben intakt bleiben und longitudinal untersucht werden könnten. Nachteil ist, dass der Volumenstrom in der Regel sehr gering ist, eventuell sogar durch das Dentin stattfinden kann und daher zu falschen Ergebnissen führen würde [20].

Um die Qualität der adhäsiven Füllungen zu testen, haben verschiedene Studien die Entstehung von marginalen Spalten ausgewertet [91]. Bei dieser Methode geht man davon aus, dass die durch die Polymerisationsschrumpfung oder durch die thermo-mechanische Belastung entstehende Spannung die Stärke des Bondings überschreitet und dass dadurch ein sichtbarer Spalt am Füllungsrand entsteht. Es ist davon auszugehen, dass die Bildung von Randspalten mit dem klinischen Versagen der Füllung zusammenhängt [89]. Die Proben können für longitudinale Studien verwendet werden, indem man für die Analyse Abformungen aus Epoxydharz verwendet und diese mehrmals im Thermocycler altern lässt [60]. Allerdings ist die Testmethode sehr labor- und zeitintensiv.

Um Adhäsive zu testen finden Messungen der mechanischen Stabilität häufig Anwendung. Dabei geht man davon aus, dass eine höhere mechanische Stabilität der adhäsiven Befestigung eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber Polymerisationsspannungen und Kaufunktionen zur Folge hat. Es wurden verschiedene Tests zur Messung der Bondingstärke entwickelt [75,78]. Am häufigsten finden Microtensile Bond Strength Tests (μ TBS) Anwendung. In der klinischen Situation treten allerdings selten solche akuten Zug- oder Scherkräfte auf, die zu einem Versagen der Füllung führen, sondern es finden zyklische unterschwellige Belastungen statt. Um die Stabilität der Verbindung gegenüber zyklischen Belastungen zu testen, können Ermüdungstests durchgeführt werden. Diese bringen Informationen darüber, wie stark das Material oder die Verbindung der Entstehung von Rissen durch eine hohe Zahl von Zyklen widerstehen kann [5]. Die Kraft bis zum Ermüdungsbruch ist kleiner als bei statischer Belastung der Füllung, die Ergebnisse von Ermüdungstests sind der in vivo Situation näher [37]. Neben der Messung von Abzugskräften

können Messungen von Scherkräften oder Auspresskräften von Füllungszyindern durchgeführt werden [37].

Bei der vorliegenden Studie eignen sich die angeführten Testmethoden durch mechanische Messung der Abzugskräfte nicht, da in manchen Gruppen die Aufbaufüllungen mehrschichtig sind und die Funktion der gesamten Füllung getestet werden sollte.

8.2 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen signifikante Unterschiede in der Dentinhftung der Aufbaufüllungen zwischen den verschiedenen vorbereiteten Dentinoberflächen nach Wurzelkanalbehandlung. Im Vergleich der Gruppen 2 und 3 mit den Gruppen 4 und 5 konnte eine signifikante Verbesserung der Dichtigkeit der Aufbaufüllungen durch die Anwendung von Total Etching erreicht werden. Dieses Ergebnis konnte von Studien, bei denen die Aufbaufüllungen in einer Kavität ohne vorherige Kontamination mit Wurzelkanalsealer gelegt wurden, nur teilweise bestätigt werden. FRANKENBERGER et al verglichen 1999 die Bondstärke von Tetric Ceram Füllungen, die in Zahnscheiben mit einer zentralen Kavität gelegt wurden durch Push-Out-Tests. Eine Belastungssimulation erfolgte durch Thermocycling (1150 Zyklen, 5-55°C). Dabei wurde das Dentinbonding bei einer Gruppe mit Syntac Classic nach Herstellerangaben durchgeführt, bei einer anderen Gruppe mit vorhergehendem Total Etching der Kavität mit 35%iger Phosphorsäure. Es konnte weder vor noch nach Thermocycling ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden [34]. GWINNETT et al konnten bei einer in vitro und in vivo Studie bei der Untersuchung von Heliomolar-Füllungen mit Syntac Classic als Dentin Bonding Agent keinen signifikanten Unterschied in der Dentinbondingstärke feststellen, allerdings zeigten die Füllungen nach Anwendung von Total Etching eine geringere Microleakage [47]. HALLER et al konnten in Klasse II Kavitäten bessere Ergebnisse durch Anwendung von Total Etching erzielen [49]. FRANKENBERGER et al haben 2004 in einer weiteren Studie die Push-Out Bondingstärke von Kompositfüllungen verglichen, die mit verschiedenen Dentinbonding Agents gelegt wurden, darunter auch Syntac Classic mit und

ohne Total Etching. Die Proben wurden für 1150 Zyklen im Thermocycler zwischen 5°C und 55°C belastet und anschließend für 1 Tag, 3 Monate und 6 Jahre in Wasser gelagert. Zu keiner der drei Zeiten konnte ein Unterschied zwischen den Syntac Classic Proben mit und ohne Total Etching beobachtet werden. Die Bondingstärke nahm über die Zeit in beiden Gruppen gleichmäßig ab [38].

Es kann durch einen Vergleich mit diesen Studien nicht nachgewiesen werden, ob die verbesserte adhäsive Verbindung nach Total Etching in der vorliegenden Untersuchung bei Füllungen mit Syntac Classic auf eine bessere Reinigung der Dentinoberfläche und eine Elimination etwaiger Reste des Wurzelkanalsealers zurückzuführen ist, da auch in anderen Untersuchungen eine Verbesserung der Funktion von Syntac Classic durch Anwendung von Total Etching erreicht wurde. In der vorliegenden Studie hätte durch zwei weitere Gruppen ohne Verwendung von Wurzelkanalsealer eventuell eine bessere Aussage diesbezüglich gemacht werden können.

Vergleicht man die Gruppen 2 und 3, so kann kein signifikanter Unterschied zwischen der Abdeckung der Kanaleingänge mit Harvard Cement oder sofortigem Auftragen von Tetric Flow mit Syntac Classic als Dentinbonding festgestellt werden. Bei der praktischen Durchführung der Versuche konnte allerdings durch den Verschluss mit Harvard Cement die offensichtliche Vermischung von Ah Plus mit dem Primer und Adhesive zu einer milchigen Flüssigkeit reduziert werden.

Im Vergleich der Gruppen 4 und 5 untereinander war der Unterschied in der Dichtigkeit ebenfalls nicht signifikant, eine Abdeckung der Kanaleingänge mit Harvard Cement vor dem Ätzworgang konnte keine statistisch eindeutige Verbesserung der Dichtigkeit erzielen. Man kann sich allerdings vorstellen, dass durch den Absprühvorgang nach der Ätzung Teile des noch nicht abgebundenen Wurzelkanalsealers mit ausgesprüht werden und Wasserreste verbleiben, die die Qualität der Wurzelkanalfüllung herabsetzen.

ROBERTS et al haben verschiedene Protokolle verglichen, um mit Ah Plus kontaminiertes Dentin zu reinigen. Es wurde allerdings koronales Dentin und nicht Dentin des Pulpencavums verwendet. Die Bondingstärke des unkontaminierten Dentins wurde durch Reinigung mit trockenen Wattlepellets

und mit Ethanol getränkten Wattepellets nicht erreicht. Nur eine Entfernung des Ah Plus mit Endosolv R erbrachte keine signifikante Abnahme der Bondingstärke gegenüber unkontaminiertem Dentin. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass der epoxydharzbasierte Wurzelkanalsealer das Dentinbonding und die methacrylatbasierte Anheftung der Aufbaufüllung behindert. Die Monomere des Ah Plus und des Komposits kopolymerisieren nicht miteinander [88].

Die Unterschiede zwischen den Gruppen in der vorliegenden Studie machen deutlich, dass beim sofortigen adhäsiven Verschluss nach endodontischer Füllung besonderes Augenmerk auf die Reinigung der Dentinoberfläche sowie auf die Anwendung des Adhäsivsystems gelegt werden muss. Die Ergebnisse zeigen, dass durch Anwendung von Total Etching das Dentin besser auf das Dentinbonding vorbereitet wird. Worauf dieser Effekt beruht und ob dieser durch die vorherige Verwendung von Ah Plus hervorgerufen wird, kann durch die vorliegenden Untersuchungen nicht gezeigt werden, hierfür wären weiterführende Studien nötig. Denkbar wäre eine bessere mechanische Reinigung durch den Absprühvorgang oder ein Herauslösen der Sealerreste durch die Phosphorsäure.

9 Literaturverzeichnis

1. Aguilar LT, Rezende NP, Reis A, et al. Tensile bond strength of adhesive systems--effects of primer and thermocycling. *Pesqui Odontol Bras* 2002;16:37-42.
2. Amaral FL, Colucci V, Palma-Dibb RG, Corona SA. Assessment of in vitro methods used to promote adhesive interface degradation: a critical review. *J Esthet Restor Dent* 2007;19:340-353.
3. Anderson RW, Powell BJ, Pashley DH. Microleakage of temporary restorations in complex endodontic access preparations. *J Endod* 1989;15:526-529.
4. Asmussen E, Uno S. Adhesion of restorative resins to dentin: chemical and physicochemical aspects. *Oper Dent* 1992;Suppl 5:68-74.
5. Baran G, Boberick K, McCool J. Fatigue of restorative materials. *Crit Rev Oral Biol Med* 2001;12:350-360.
6. Beach CW, Calhoun JC, Bramwell JD, Hutter JW, Miller GA. Clinical evaluation of bacterial leakage of endodontic temporary filling materials. *J Endod* 1996;22:459-462.
7. Bedran-de-Castro AK, Pereira PN, Pimenta LA, Thompson JY. Effect of thermal and mechanical load cycling on nanoleakage of Class II restorations. *J Adhes Dent* 2004;6:221-226.
8. Belli S, Zhang Y, Pereira PN, Pashley DH. Adhesive sealing of the pulp chamber. *J Endod* 2001;27:521-526.
9. Bouillaguet S, Duroux B, Ciucchi B, Sano H. Ability of adhesive systems to seal dentin surfaces: an in vitro study. *J Adhes Dent* 2000;2:201-208.
10. Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenaro M, Di Lenarda R, De Stefano Dorigo E. Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface. *Dent Mater* 2008;24:90-101.

11. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955;34:849-853.
12. Burke FJ, McCaughey AD. The four generations of dentin bonding. *Am J Dent* 1995;8:88-92.
13. Carrilho MR, Carvalho RM, Tay FR, Pashley DH. Effects of storage media on mechanical properties of adhesive systems. *Am J Dent* 2004;17:104-108.
14. Carvalho RM, Yoshiyama M, Pashley EL, Pashley DH. In vitro study on the dimensional changes of human dentine after demineralization. *Arch Oral Biol* 1996;41:369-377.
15. Christensen GJ. Amalgam vs. composite resin: 1998. *J Am Dent Assoc* 1998;129:1757-1759.
16. Cotton TP, Schindler WG, Schwartz SA, Watson WR, Hargreaves KM. A retrospective study comparing clinical outcomes after obturation with Resilon/Epiphany or Gutta-Percha/Kerr sealer. *J Endod* 2008;34:789-797.
17. Dalat DM, Spangberg LS. Comparison of apical leakage in root canals obturated with various gutta percha techniques using a dye vacuum tracing method. *J Endod* 1994;20:315-319.
18. Dawson AS, Cardaci SC. Endodontics versus implantology: to extirpate or integrate? *Aust Endod J* 2006;32:57-63.
19. de Castro FL, de Andrade MF, Duarte Junior SL, Vaz LG, Ahid FJ. Effect of 2% chlorhexidine on microtensile bond strength of composite to dentin. *J Adhes Dent* 2003;5:129-138.
20. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, et al. A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res* 2005;84:118-132.

21. Del-Nero MO, Escribano N, de la Macorra JC. Analysis of sealing vs tensile bond strength of eight adhesive restorative material systems. *J Adhes Dent* 2000;2:117-127.
22. Derkson GD, Pashley DH, Derkson ME. Microleakage measurement of selected restorative materials: a new in vitro method. *J Prosthet Dent* 1986;56:435-440.
23. Dos Santos PA, Garcia PP, Palma-Dibb RG. Shear bond strength of adhesive systems to enamel and dentin. Thermocycling influence. *J Mater Sci Mater Med* 2005;16:727-732.
24. Dummer PM, Kelly T, Meghji A, Sheikh I, Vanitchai JT. An in vitro study of the quality of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators. *Int Endod J* 1993;26:99-105.
25. Dummer PM, Lyle L, Rawle J, Kennedy JK. A laboratory study of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators. *Int Endod J* 1994;27:32-38.
26. Eckert SE, Choi YG, Sanchez AR, Koka S. Comparison of dental implant systems: quality of clinical evidence and prediction of 5-year survival. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005;20:406-415.
27. Economides N, Liolios E, Kolokuris I, Beltes P. Long-term evaluation of the influence of smear layer removal on the sealing ability of different sealers. *J Endod* 1999;25:123-125.
28. Eick JD, Cobb CM, Chappell RP, Spencer P, Robinson SJ. The dentinal surface: its influence on dentinal adhesion. Part I. *Quintessence Int* 1991;22:967-977.
29. Eick JD, Gwinnett AJ, Pashley DH, Robinson SJ. Current concepts on adhesion to dentin. *Crit Rev Oral Biol Med* 1997;8:306-335.
30. Eick JD, Robinson SJ, Chappell RP, Cobb CM, Spencer P. The dentinal surface: its influence on dentinal adhesion. Part III. *Quintessence Int* 1993;24:571-582.

31. Eick JD, Wilko RA, Anderson CH, Sorensen SE. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. *J Dent Res* 1970;49:Suppl:1359-1368.
32. Fennis WM, Kuijs RH, Barink M, Kreulen CM, Verdonchot N, Creugers NH. Can internal stresses explain the fracture resistance of cusp-replacing composite restorations? *Eur J Oral Sci* 2005;113:443-448.
33. Ferrari M, Cagidiaco MC, Kugel G, Davidson CL. Dentin infiltration by three adhesive systems in clinical and laboratory conditions. *Am J Dent* 1996;9:240-244.
34. Frankenberger R, Kramer N, Petschelt A. Fatigue behaviour of different dentin adhesives. *Clin Oral Investig* 1999;3:11-17.
35. Frankenberger R, Kramer N, Petschelt A. Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation. *Oper Dent* 2000;25:324-330.
36. Frankenberger R, Perdigao J, Rosa BT, Lopes M. "No-bottle" vs "multi-bottle" dentin adhesives--a microtensile bond strength and morphological study. *Dent Mater* 2001;17:373-380.
37. Frankenberger R, Strobel WO, Kramer N, et al. Evaluation of the fatigue behavior of the resin-dentin bond with the use of different methods. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2003;67:712-721.
38. Frankenberger R, Strobel WO, Lohbauer U, Kramer N, Petschelt A. The effect of six years of water storage on resin composite bonding to human dentin. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2004;69:25-32.
39. Frankenberger R, Tay FR. Self-etch vs etch-and-rinse adhesives: effect of thermo-mechanical fatigue loading on marginal quality of bonded resin composite restorations. *Dent Mater* 2005;21:397-412.
40. Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment. *J Endod* 2003;29:787-793.

41. Friedman S, Mor C. The success of endodontic therapy--healing and functionality. *J Calif Dent Assoc* 2004;32:493-503.
42. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent* 1999;27:89-99.
43. Galvan RR, Jr., West LA, Liewehr FR, Pashley DH. Coronal microleakage of five materials used to create an intracoronal seal in endodontically treated teeth. *J Endod* 2002;28:59-61.
44. Gambrel MG, Hartwell GR, Moon PC, Cardon JW. The effect of endodontic solutions on resorcinol-formalin paste in teeth. *J Endod* 2005;31:25-29.
45. Gilbert SD, Witherspoon DE, Berry CW. Coronal leakage following three obturation techniques. *Int Endod J* 2001;34:293-299.
46. Gutmann JL, Saunders WP, Saunders EM, Nguyen L. An assessment of the plastic Thermafil obturation technique. Part 2. Material adaptation and sealability. *Int Endod J* 1993;26:179-183.
47. Gwinnett AJ, Dickerson WG, Yu S. Dentin bond shear strength and microleakage for Syntac/Heliomolar: a comparison between the manufacturer's and total etch technique. *J Esthet Dent* 1992;4:164-168.
48. Gwinnett AJ, Garcia-Godoy F. Effect of etching time and acid concentration on resin shear bond strength to primary tooth enamel. *Am J Dent* 1992;5:237-239.
49. Haller B WU, Hofmann N, Klaiber B. Selektive Schmelzätzung oder Total Etching? *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:824-827.
50. Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H. In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. *J Dent Res* 2000;79:1385-1391.
51. Hilton TJ. Can modern restorative procedures and materials reliably seal cavities? In vitro investigations. Part 2. *Am J Dent* 2002;15:279-289.

52. Iqbal MK, Saad NA. Microleakage of cavit in varnish-lined, matrix-supported endodontic access preparations. *J Endod* 1998;24:465-467.
53. Jorgensen KD, Matono R, Shimokobe H. Deformation of cavities and resin fillings in loaded teeth. *Scand J Dent Res* 1976;84:46-50.
54. Kanca J, 3rd. Dentin bonding system nomenclature: the next generation. *J Esthet Restor Dent* 2005;17:271-272.
55. Kidd EA. Microleakage: a review. *J Dent* 1976;4:199-206.
56. Kitasako Y, Burrow MF, Nikaido T, Tagami J. The influence of storage solution on dentin bond durability of resin cement. *Dent Mater* 2000;16:1-6.
57. Koagel SO, Mines P, Apicella M, Sweet M. In vitro study to compare the coronal microleakage of Tempit UltraF, Tempit, IRM, and Cavit by using the fluid transport model. *J Endod* 2008;34:442-444.
58. Kokkas AB, Boutsoukis A, Vassiliadis LP, Stavrianos CK. The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. *J Endod* 2004;30:100-102.
59. Korasli D, Ziraman F, Ozyurt P, Cehreli SB. Microleakage of self-etch primer/adhesives in endodontically treated teeth. *J Am Dent Assoc* 2007;138:634-640.
60. Krejci I, Kuster M, Lutz F. Influence of dentinal fluid and stress on marginal adaptation of resin composites. *J Dent Res* 1993;72:490-494.
61. Lamers AC, Simon M, van Mullem PJ. Microleakage of Cavit temporary filling material in endodontic access cavities in monkey teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980;49:541-543.
62. Lutz E, Krejci I, Oldenburg TR. Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite resin restorations: a new restorative technique. *Quintessence Int* 1986;17:777-784.

63. Lutz F, Krejci I, Barbakow F. Quality and durability of marginal adaptation in bonded composite restorations. *Dent Mater* 1991;7:107-113.
64. Madarati A, Rekab MS, Watts DC, Qualtrough A. Time-dependence of coronal seal of temporary materials used in endodontics. *Aust Endod J* 2008;34:89-93.
65. Mair LH. Ten-year clinical assessment of three posterior resin composites and two amalgams. *Quintessence Int* 1998;29:483-490.
66. Mayer T, Eickholz P. Microleakage of temporary restorations after thermocycling and mechanical loading. *J Endod* 1997;23:320-322.
67. Miyazaki M, Sato M, Onose H, Moore BK. Influence of thermal cycling on dentin bond strength of two-step bonding systems. *Am J Dent* 1998;11:118-122.
68. Mjor IA, Gordan VV. Failure, repair, refurbishing and longevity of restorations. *Oper Dent* 2002;27:528-534.
69. Mjor IA, Shen C, Eliasson ST, Richter S. Placement and replacement of restorations in general dental practice in Iceland. *Oper Dent* 2002;27:117-123.
70. Nagasiri R, Chitmongkolsuk S. Long-term survival of endodontically treated molars without crown coverage: a retrospective cohort study. *J Prosthet Dent* 2005;93:164-170.
71. Nakabayashi N, Ashizawa M, Nakamura M. Identification of a resin-dentin hybrid layer in vital human dentin created in vivo: durable bonding to vital dentin. *Quintessence Int* 1992;23:135-141.
72. Nikaido T, Kunzelmann KH, Chen H, et al. Evaluation of thermal cycling and mechanical loading on bond strength of a self-etching primer system to dentin. *Dent Mater* 2002;18:269-275.
73. Opdam NJ, Roeters FJ, Feilzer AJ, Verdonchot EH. Marginal integrity and postoperative sensitivity in Class 2 resin composite restorations in vivo. *J Dent* 1998;26:555-562.

74. Pagliarini A, Rubini R, Rea M, Campese C, Grandini R. Effectiveness of the current enamel-dentinal adhesives: a new methodology for its evaluation. *Quintessence Int* 1996;27:265-270.
75. Pashley DH, Carvalho RM, Sano H, et al. The microtensile bond test: a review. *J Adhes Dent* 1999;1:299-309.
76. Pashley DH, Ciucchi B, Sano H, Carvalho RM, Russell CM. Bond strength versus dentine structure: a modelling approach. *Arch Oral Biol* 1995;40:1109-1118.
77. Pashley DH, Ciucchi B, Sano H, Horner JA. Permeability of dentin to adhesive agents. *Quintessence Int* 1993;24:618-631.
78. Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M, Carvalho RM. Adhesion testing of dentin bonding agents: a review. *Dent Mater* 1995;11:117-125.
79. Paul SJ, Welter DA, Ghazi M, Pashley D. Nanoleakage at the dentin adhesive interface vs microtensile bond strength. *Oper Dent* 1999;24:181-188.
80. Perdigao J, Frankenberger R. Effect of solvent and rewetting time on dentin adhesion. *Quintessence Int* 2001;32:385-390.
81. Perdigao J, Frankenberger R, Rosa BT, Breschi L. New trends in dentin/enamel adhesion. *Am J Dent* 2000;13:25D-30D.
82. Perdigao J, Gomes G, Gondo R, Fundingsland JW. In vitro bonding performance of all-in-one adhesives. Part I--microtensile bond strengths. *J Adhes Dent* 2006;8:367-373.
83. Perdigao J, Lambrechts P, Van Meerbeek B, et al. The interaction of adhesive systems with human dentin. *Am J Dent* 1996;9:167-173.
84. Perdigao J, Lopes M. Dentin bonding--questions for the new millennium. *J Adhes Dent* 1999;1:191-209.

85. Peutzfeldt A, Asmussen E. Influence of eugenol-containing temporary cement on bonding of self-etching adhesives to dentin. *J Adhes Dent* 2006;8:31-34.
86. Ray HA, Trope M. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J* 1995;28:12-18.
87. Reel DC, Mitchell RJ. Fracture resistance of teeth restored with Class II composite restorations. *J Prosthet Dent* 1989;61:177-180.
88. Roberts S, Kim JR, Gu LS, et al. The efficacy of different sealer removal protocols on bonding of self-etching adhesives to AH plus-contaminated dentin. *J Endod* 2009;35:563-567.
89. Roulet JF. Marginal integrity: clinical significance. *J Dent* 1994;22 Suppl 1:S9-12.
90. Roulet JF. Benefits and disadvantages of tooth-coloured alternatives to amalgam. *J Dent* 1997;25:459-473.
91. Roulet JF, Reich T, Blunck U, Noack M. Quantitative margin analysis in the scanning electron microscope. *Scanning Microsc* 1989;3:147-158; discussion 158-149.
92. Salehrabi R, Rotstein I. Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study. *J Endod* 2004;30:846-850.
93. Sano H, Kanemura N, Burrow MF, Inai N, Yamada T, Tagami J. Effect of operator variability on dentin adhesion: students vs. dentists. *Dent Mater J* 1998;17:51-58.
94. Sano H, Shono T, Takatsu T, Hosoda H. Microporous dentin zone beneath resin-impregnated layer. *Oper Dent* 1994;19:59-64.
95. Schupbach P, Krejci I, Lutz F. Dentin bonding: effect of tubule orientation on hybrid-layer formation. *Eur J Oral Sci* 1997;105:344-352.

96. Schwartz RS. Adhesive dentistry and endodontics. Part 2: bonding in the root canal system-the promise and the problems: a review. *J Endod* 2006;32:1125-1134.
97. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* 1990;16:498-504.
98. Soderholm KJ, Guelmann M, Bimstein E. Shear bond strength of one 4th and two 7th generation bonding agents when used by operators with different bonding experience. *J Adhes Dent* 2005;7:57-64.
99. Swanson K, Madison S. An evaluation of coronal microleakage in endodontically treated teeth. Part I. Time periods. *J Endod* 1987;13:56-59.
100. Swift EJ, Jr. Dentin/enamel adhesives: review of the literature. *Pediatr Dent* 2002;24:456-461.
101. Swift EJ, Jr., Wilder AD, Jr., May KN, Jr., Waddell SL. Shear bond strengths of one-bottle dentin adhesives using multiple applications. *Oper Dent* 1997;22:194-199.
102. Tao L, Pashely DH, Boyd L. Effect of different types of smear layers on dentin and enamel shear bond strengths. *Dent Mater* 1988;4:208-216.
103. Torabinejad M, Ung B, Kettering JD. In vitro bacterial penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth. *J Endod* 1990;16:566-569.
104. Uno S, Finger WJ. Function of the hybrid zone as a stress-absorbing layer in resin-dentin bonding. *Quintessence Int* 1995;26:733-738.
105. Uranga A, Blum JY, Esber S, Parahy E, Prado C. A comparative study of four coronal obturation materials in endodontic treatment. *J Endod* 1999;25:178-180.
106. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 2003;28:215-235.

107. Van Meerbeek B, Yoshida Y, Lambrechts P, et al. A TEM study of two water-based adhesive systems bonded to dry and wet dentin. *J Dent Res* 1998;77:50-59.
108. Walshaw PR, McComb D. Clinical considerations for optimal dentinal bonding. *Quintessence Int* 1996;27:619-625.
109. Wang Y, Spencer P. Analysis of acid-treated dentin smear debris and smear layers using confocal Raman microspectroscopy. *J Biomed Mater Res* 2002;60:300-308.
110. Wattanawongpitak N, Nakajima M, Ikeda M, Foxton RM, Tagami J. Microtensile bond strength of etch-and-rinse and self-etching adhesives to intrapulpal dentin after endodontic irrigation and setting of root canal sealer. *J Adhes Dent* 2009;11:57-64.
111. Webber RT, del Rio CE, Brady JM, Segall RO. Sealing quality of a temporary filling material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1978;46:123-130.
112. Wimonchit S, Timpawat S, Vongsavan N. A comparison of techniques for assessment of coronal dye leakage. *J Endod* 2002;28:1-4.
113. Wolanek GA, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Volkmann KR. In vitro bacterial penetration of endodontically treated teeth coronally sealed with a dentin bonding agent. *J Endod* 2001;27:354-357.
114. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR. Fluid transport and dye penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 1994;27:233-238.
115. Zaia AA, Nakagawa R, De Quadros I, et al. An in vitro evaluation of four materials as barriers to coronal microleakage in root-filled teeth. *Int Endod J* 2002;35:729-734.

Anhang

Versuchsergebnisse (undichte Füllungsanteile in Prozent):

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
	GIZ	Pc Syntac TC	Syntac TF TC	Total Etch Syntac TF TC	Pc Total Etch Syntac TC
1a	100,00	5,92	13,47	13,21	24,01
1b	100,00	3,78	24,70	51,51	0,00
2a	58,97	0,00	23,18	9,86	21,47
2b	86,02	0,00	11,75	12,65	21,30
3a	100,00	5,17	79,46	0,95	13,38
3b	100,00	7,77	45,95	8,67	2,77
4a	87,95	76,06	78,67	0,00	8,50
4b	86,11	100,00	84,24	2,71	0,00
5a	100,00	69,55	28,01	35,27	0,00
5b	71,35	60,15	36,83	21,83	0,00
6a	80,54	3,31	65,43	0,00	24,60
6b	93,24	3,99	71,88	2,40	24,57
7a	100,00	22,86	6,22	5,84	14,26
7b	96,62	38,79	12,88	32,52	9,96
8a	95,94	40,82	91,89	28,10	0,00
8b	83,73	29,53	86,20	18,40	0,00
9a	91,16	88,99	64,56	18,65	0,00
9b	100,00	40,58	72,44	24,47	0,00
10a	97,46	49,66	47,84	11,18	19,17
10b	91,76	61,72	15,52	4,03	36,15
Mittelwert	91,0425	35,4325	48,056	15,1125	11,007

Danksagung

Besonderer Dank gilt Prof. Dr. Roland Frankenberger für die Bereitstellung des Themas, die Geduld sowie die immer spontane und schnelle Beratung und Hilfe.

Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten in Erlangen:

Becker, Bögershausen, Brauner, Ebert, Eitner, Frankenberger, Handwerker, Heckmann, Hertrich, Hirschfelder, Kessler, Lechner, Neuhuber, Neukam, Oberschachtsiek, Ott, Pelka, Petschelt, Schlegel, Schultze-Mosgau, Voß, Wichmann, Wiltfang